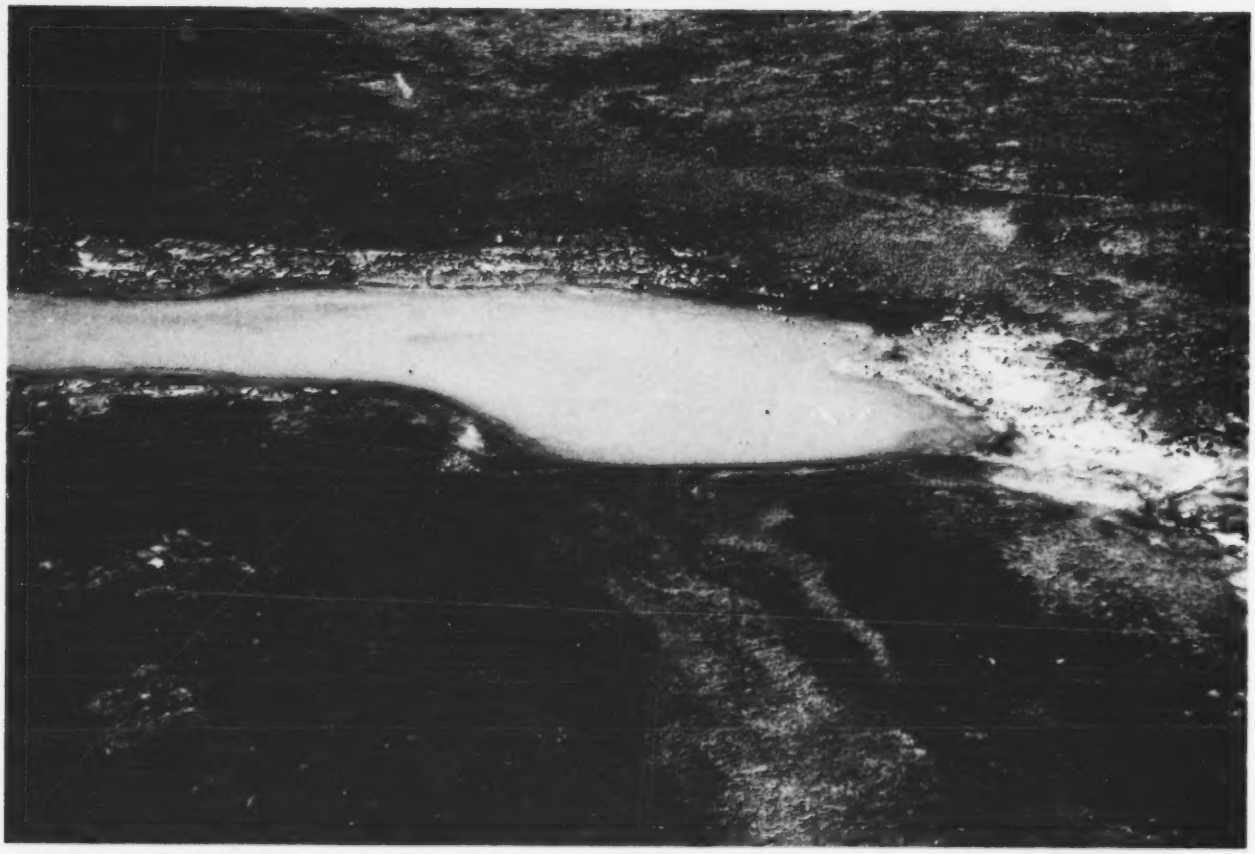
Andrew B. Didiuk
Robert S. Ferguson

Land cover mapping of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

Occasional Paper
Number 111
Canadian Wildlife Service



Canada

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Canadian Wildlife Service Occasional Papers

Occasional Papers report the peer-reviewed results of original research carried out by members of the Canadian Wildlife Service or supported by the Canadian Wildlife Service.

Editorial Board

C.D. Ankney
University of Western Ontario

David Cairns
Fisheries and Oceans Canada

Fred Cooke
Simon Fraser University

A.W. Diamond
University of New Brunswick

Charles J. Henny
U.S. Geological Survey

Raymond McNeill
Université de Montréal

Ross J. Norstrom
Canadian Wildlife Service

Austin Reed
Canadian Wildlife Service

Harold Welch
Northwater Consultants

Managing Editors

Erica H. Dunn
Canadian Wildlife Service

Michèle Poirier
Canadian Wildlife Service

The Canadian Wildlife Service

The Canadian Wildlife Service of Environment Canada handles wildlife matters that are the responsibility of the Canadian government. These include protection and management of migratory birds as well as nationally significant wildlife habitat. Other responsibilities are endangered species, control of international trade in endangered species, and research on wildlife issues of national importance. The service cooperates with the provinces, territories, Parks Canada, and other federal agencies in wildlife research and management.

For more information about the Canadian Wildlife Service or its other publications, to notify us of an address change, or to ask to be removed from our mailing list, please contact:

Publications
Canadian Wildlife Service
Environment Canada
Ottawa, Ontario K1A 0H3
(819) 997-1095
(819) 997-2756 (fax)
cws-scf@ec.gc.ca
http://www.cws-scf.ec.gc.ca

106-04431/

Andrew B. Didiuk[1]
Robert S. Ferguson[2]

Land cover mapping of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

Occasional Paper
Number 111
Canadian Wildlife Service
March 2005

Également disponible en français sous le titre
Carte de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut
Service canadien de la faune, Publication hors série n° 111

[1] Canadian Wildlife Service, 115 Perimeter Road, Saskatoon, Saskatchewan S7N 0X4
[2] Canadian Wildlife Service, 5204–50th Avenue, Suite 301, Yellowknife, Northwest Territories X1A 1E2
(Current address: MATRIX Resource Services, Box 1133, Golden, British Columbia V0A 1H0)

A member of the Environmental Conservation family

All photos by Andrew Didiuk, Canadian Wildlife Service.
Cover photo: Aerial view of habitat near Perry River, Nunavut.

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by
the Minister of Environment, 2005. All rights reserved.
Catalogue No. CW69-1/111E
ISBN 0-662-33649-6
ISSN 0576-6370

Online at http://www.cws-scf.ec.gc.ca

HTML
Catalogue No. CW69-1/111E-HTML
ISBN 0-662-39678-2

PDF
Catalogue No. CW69-1/111E-PDF
ISBN 0-662-39679-0

Library and Archives Canada Cataloguing in Publication

Didiuk, Andrew B.

Land cover mapping of Queen Maud Gulf Migratory
Bird Sanctuary, Nunavut

(Occasional paper, ISSN 0576-6370 ; no. 111)
Issued also in French under title : Carte de la couverture terrestre du
Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut.
Includes bibliographical references.
Accompanied by a CD-ROM.
Available also on the Internet.
ISBN 0-662-33649-6 Cat. no. CW69-1/111E

1. Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary (Nunavut) – Maps.
2. Bird refuges – Nunavut – Queen Maud Gulf Region – Maps.
3. Waterfowl – Habitat – Nunavut – Queen Maud Gulf Region – Maps.
4. Wildlife management – Nunavut – Queen Maud Gulf Region.
I. LANDSAT satellites.
II. Ferguson, Robert S.
III. Title.
IV. Series : Occasional paper (Canadian Wildlife Service) ; no. 111.

QL676.57Q46 2005 333.95'828 C2003-980090-3

Abstract

The Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary in Nunavut, in the central Canadian Arctic, is an important breeding area for a variety of species of waterfowl and other wildlife. An assessment of the types and spatial extent of land cover, with a particular emphasis upon wildlife habitat capability, has not been available for this sanctuary, preventing an adequate environmental assessment of proposed changes to the sanctuary's boundaries and limiting attempts to evaluate population trends and the distribution of wildlife species within the sanctuary.

LANDSAT Thematic Mapper satellite imagery and digital image processing technology were used to prepare a land cover map for this large and remote area. Data from an examination of a variety of possible image enhancements, three field seasons of ground and aerial inspections of land cover types, and image classification were used to generate a thematic map of land cover types. An accuracy assessment of the classification provided an estimate of the reliability of the land cover map.

Thirteen land cover types were identified and mapped, including three turbidity classes of water bodies and 10 terrestrial land cover types. An image enhancement, using power stretches of Bands 4 and 5 and a linear stretch of Band 2, proved to be an excellent means of visually interpreting land cover types and was used to generate colour map plots for field inspections. During the three field seasons, 75 detailed ground visits and 2606 low-level aerial inspections of land cover sites were undertaken.

Overall accuracy of the classification of water body turbidity was 84%, with no confusion between turbid and clear lakes. Overall classification accuracy for terrestrial land cover types was 89%, with most of the individual cover types having an estimated accuracy of >80%.

The land cover map will provide an effective means of assessing proposed boundary changes when used in conjunction with wildlife data and professional judgment. It will also provide a basis for effective design and evaluation of current and future surveys to monitor wildlife populations within the sanctuary. Similar land cover mapping of other migratory bird sanctuaries using satellite image analysis may be an effective means of evaluating the wildlife habitat of these other important areas.

Acknowledgments

We give special thanks to K. McCormick, Canadian Wildlife Service, and G. Stenhouse, Ducks Unlimited Canada, for their encouragement and funding support during all phases of this project. R. Alisauskas provided some funds at the initiation of the project. We thank M. Gillespie, Manitoba Department of Natural Resources, for assistance and companionship in the field. J. Faulkner and K. Mitchner, Sunrise Helicopters, provided excellent pilot skills and assistance.

We appreciate the discussions and comments on this manuscript provided by G. Adams, R. Alisauskas, J. Hines, V. Johnston, R. Kerbes, K. McCormick, and C. Taylor.

Assistance with digital image processing was provided by D. Busch, R. Dixon, G. Lux, and H. Pokrant of the Manitoba Remote Sensing Centre, J. Polson and P. McTavish of the Saskatchewan Research Council, and C. Taylor and H. Epp of the Northwest Territories Centre for Remote Sensing.

J. Hudson of the Fraser Herbarium, University of Saskatchewan, Saskatoon, identified species of plants collected during our fieldwork. Turbidity measurements of water samples were provided by the National Hydrology Research Institute, Environment Canada, Saskatoon.

Assistance with digital map production was provided by G. Babish, Canadian Wildlife Service, Regina.

This project was supported by the Canadian Wildlife Service, Ducks Unlimited Canada, and the Arctic Goose Joint Venture of Environment Canada.

This publication was produced by the Scientific and Technical Documents Division of the Canadian Wildlife Service. The following people were responsible: Pat Logan, Susan Burns, and Elizabeth Morton — coordination; Marla Sheffer and Raymonde Lanthier (contract editors) — scientific editing; Sylvie Larose and Linda Bartlett — layout; and Mark Hickson — printing.

Contents

1. Introduction 7

2. Methods 9
- 2.1 Image data 9
- 2.2 Image enhancements 9
- 2.3 Field studies 9
- 2.4 Classification of water and ice 10
- 2.5 Classification of terrestrial land cover types 10
- 2.6 Geo-referencing and combining of images 10
- 2.7 Accuracy assessment 10

3. Results and discussion 11
- 3.1 Land cover types 11
- 3.2 Visual interpretation of enhancement 12
- 3.3 Classification of land cover 12
- 3.4 Accuracy of classification 13
  - 3.4.1 Water 13
  - 3.4.2 Land 13

4. Management and research opportunities 16

5. Recommendations 18

Literature cited 19

Appendices 21

List of figures

Figure 1. Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 8

Figure 2. Illustration of distinct boundaries between adjacent land cover types, in this case a bedrock outcrop and a small lake 12

Figure 3. An example of an image enhancement using a power stretch of Band 4, a power stretch of Band 5, and a linear stretch of Band 2, displayed in red, green, and blue, respectively 12

Figure 4. Areas classified as exposed peat in the vicinity of Ross' and Snow goose nesting colonies at Karrak Lake in the Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 16

List of tables

Table 1. Number of detailed ground visits and aerial inspections of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 9

Table 2. Turbidity and Secchi disk measurements of lakes of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 13

Table 3. Producer's and user's accuracies of classification of water bodies of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 14

Table 4. Producer's and user's accuracies of classification of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 14

Table 5. Distribution of pixel classifications within test samples of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 15

Table 6. Summary of areal extent of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 16

Digital maps

Digital land cover maps of the Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary are included in various formats on the accompanying CD-ROM. Please consult the readme file on the CD-ROM for complete details.

List of appendices

Appendix 1. Dates and track and frame identifiers of LANDSAT TM images used for land cover classification of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 21

Appendix 2. Land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut 21

1. Introduction

The Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary (MBS) was established in 1961. It encompasses 63 655 km^2 of the central Canadian Arctic and is the largest bird sanctuary in the country (Fig. 1). Since the discovery of the nesting grounds of Ross' Goose *Chen rossii* near the Perry River in 1938 (Gavin 1947), the MBS has been the focus of frequent biological investigations. Early work focused on an inventory of the physical and biological resources of the Perry River area (Hanson et al. 1956) and research on the nesting biology and distribution of Ross' Geese (Ryder 1967, 1969, 1972). During the 1960s, Ryder (1971) also collected information on the distribution and breeding biology of Snow Geese *Chen caerulescens* in the MBS.

Since these early investigations, there has been accelerated research on and monitoring of goose populations in the MBS. Photographic inventories at Ross' and Snow goose nesting colonies, which have been rapidly increasing in size, are conducted at intervals (Kerbes et al. 1983; Kerbes 1994). A variety of nesting and brood ecology research has been, and continues to be, conducted in the MBS (McLandress 1983; Slattery 1994). Recent investigations focus upon the development of population estimates for Ross' Geese, Snow Geese, Greater White-fronted Geese *Anser albifrons*, and several populations of Cackling Geese *Branta hutchinsii* using aerial surveys (R. Alisauskas, pers. commun.) and marking programs to evaluate fall and winter distributions, population affiliation, annual survival, and population size (R. Kerbes, pers. commun.). These initiatives were sponsored in part by the Arctic Goose Joint Venture of the North American Waterfowl Management Plan.

The MBS contains many other wildlife species, some on a seasonal basis. There are large numbers of muskox *Ovibos moschatus* on the alluvial plains of the MBS, and some of the Bathurst barren-ground caribou *Rangifer tarandus groenlandicus* herd calve and summer in the eastern portion of the MBS (Heard 1989). Grizzly bears *Ursus arctos*, Sandhill Cranes *Grus canadensis*, Tundra Swans *Cygnus columbianus*, and a variety of waterfowl breed within the MBS.

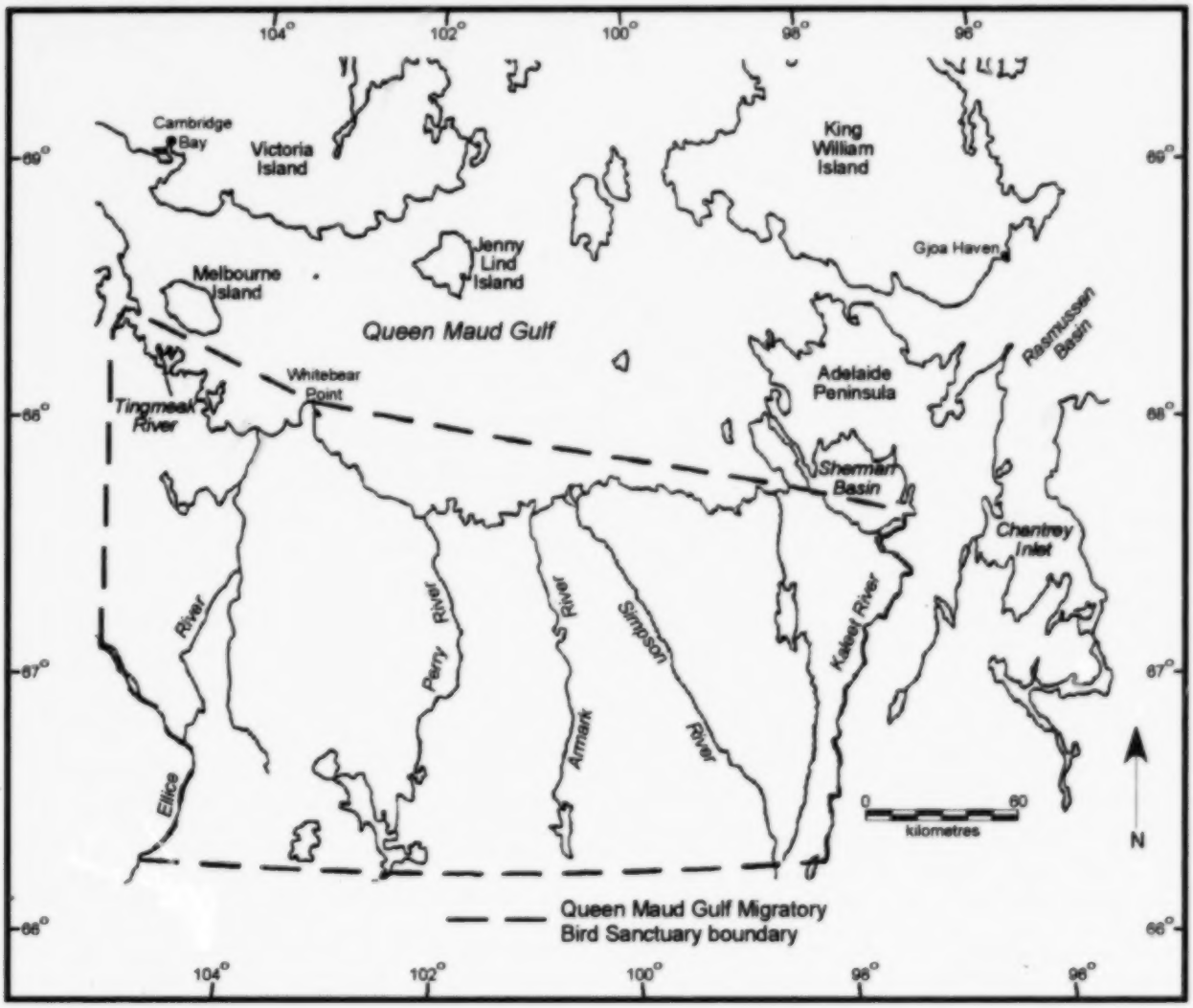
In 1990, the Conservation Advisory Committee on the Northern Mineral Policy reviewed the boundaries of migratory bird sanctuaries in the Northwest Territories that lie north of the 60th parallel (Conservation Advisory Committee 1990). The Committee proposed a reduction in size of the Queen Maud Gulf MBS to approximately 54 000 km^2 but did not recommend where these reductions should occur. The Committee's recommendation was put forward on the condition that any proposed MBS boundary changes should be supported by a thorough field assessment of the migratory bird habitat of the MBS.

The Committee's review demonstrated that current information was inadequate for any alteration of the MBS boundaries. Although recent survey and monitoring efforts have improved understanding of the distribution of some species of waterfowl, much of this information remains focused upon the known nesting colonies of Ross' and Snow geese. Little information is available regarding wildlife habitat within the MBS, and there is no information on the distribution of those habitat features of importance to waterfowl and other species of wildlife.

Creation of a land cover map applicable for the assessment of wildlife habitat capability will assist in a variety of current and future wildlife inventories and research programs. Habitat inventory data will allow the detection and mapping of specific areas within the MBS that are particularly important to waterfowl and other species and will complement long-term ecological studies of geese and other wildlife. Habitat maps will greatly enhance future aerial surveys of wildlife species by allowing stratification of survey effort. Integration of habitat maps, derived from satellite imagery, with other wildlife data in a geographic information system (GIS) can enhance the evaluation of relationships between habitat and wildlife presence or use (Butler et al. 1995).

The extremely large area and remoteness of the MBS provide a challenge to those contemplating the creation of a habitat map, and the use of remote sensing technology was necessary to overcome these obstacles. There has been increasing use of various sources of satellite imagery and processing technologies to conduct terrain and wildlife habitat mapping in northern regions (Thompson et al. 1980; Harvie et al. 1982; Shasby and Carneggie 1986; Petersen 1987; Dickson et al. 1989; Wakelyn 1990; Ferguson 1991; Markon and Derksen 1994). LANDSAT Thematic Mapper (TM) imagery was chosen for the creation of a digital thematic map of the MBS. The ground resolution of this sensor was appropriate for the macroscale mapping to be conducted, and the high spectral sensitivity of the sensor was useful for detecting differences in surface moisture and vegetation. This imagery, when referenced to a map projection, can be integrated with other digital databases and maps.

Figure 1
Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut



The primary goal of the project was to create a macroscale inventory of land cover types within the Queen Maud Gulf MBS, with particular emphasis upon land cover types that may be important as waterfowl habitat. Specific objectives were:

- to develop a classification scheme for land cover types;
- to produce a thematic map (classified map) of the MBS showing the distribution of cover types;
- to describe the physical and biological characteristics of each cover type; and
- to provide a tabular summary of the areal extent of each cover type within the MBS.

The products derived from this project will be used to prepare recommendations regarding any proposed changes to the MBS boundaries following integration with population data on waterfowl and other wildlife.

2. Methods

2.1 Image data

Due to frequent cloud cover and fog along the coastline of Queen Maud Gulf, there were few LANDSAT images available for processing. A total of four full scenes and three quadrats were required for complete cloud-free coverage of the MBS. Image dates ranged from mid-July to early August from 1986 to 1992. More information regarding image date and location is provided in Appendix 1. Image processing was performed on ARIES III systems (Applied Resource Image Exploitation System; DIPIX 1987) at the Manitoba Remote Sensing Centre in Winnipeg, Manitoba, and at the Saskatchewan Research Council in Saskatoon, Saskatchewan.

2.2 Image enhancements

A variety of enhancements were created, including linear and power stretches, histogram equalizations, and principal component transformations (Short 1982; Showengerdt 1983; DIPIX 1987). A colour composite of near-infrared (Band 4), shortwave infrared (Band 5), and green (Band 2) spectral bands, displayed in red, green, and blue, respectively, was deemed to provide excellent discrimination of lowland and upland cover types. Ease of interpretation was enhanced further by applying a power contrast stretch to Bands 4 and 5 (power = 2.0) and a linear contrast stretch to Band 2.

This composite was used to create colour map plots. All images were plotted at a scale of 1:250 000, and these were used to select 11 subareas within the images, ranging from 2250 to 4200 km^2, which appeared to contain the full range of spectral values (and, presumably, land cover types) of the images. Colour map plots at a scale of 1:50 000 were created for these 11 subareas and used in the field to select and determine land cover types.

2.3 Field studies

Helicopter-assisted fieldwork was conducted from 10 to 17 July 1991, from 7 to 20 July 1992, and from 5 to 14 July 1993 to determine land cover types associated with homogeneous areas on the 1:50 000 colour map plots. In 1991, a reconnaissance of the entire MBS and detailed ground checks at selected sites resulted in the determination of 13 land cover types (including three types of water turbidity). These were distinctive, important for wildlife habitat assessments, and considered to be suitable for classification with minimum classification confusion. Preliminary image classifications used information from this reconnaissance and the detailed ground checks. In 1992 and 1993, additional inspections of selected sites, primarily low-level aerial inspections, were made throughout the MBS, and these were used for the final image classifications. During the three field seasons, 75 detailed ground visits and 2606 low-level aerial inspections of land cover sites were undertaken (Table 1).

Table 1
Number of detailed ground visits and aerial inspections of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

Cover type	Ground visit	Aerial inspection
Water		
Clear	5	287
Moderately turbid	5	279
Turbid	5	271
Wet sedge meadow	8	454
Hummock graminoid tundra	9	116
Tussock graminoid tundra	10	151
Low shrub tundra	11	190
Shrub thicket	3	60
Moss-lichen tundra	5	78
Lichen-heath tundra	3	383
Bedrock and boulder field	3	162
Active deposits	1	53
Exposed peat	2	42
Coastal graminoid turf	5	80
Total	75	2606

During detailed ground checks, we recorded the following information when walking linear transects across representative areas: landform (upland — bedrock, esker, ridge, ridge slope, terrace; lowland — depression, shoreline, wetland); topography (level, undulating, hummocky, broken/eroded, slope); microtopography (hummocks, polygons, sorting and striping); substrate (bedrock, boulders, gravel, till, clay/silt, peat); surface moisture (xeric, mesic, hygric, hydric), and vegetation type and extent. Vegetation descriptions included dominant growth form (lichens, mosses, non-woody forbs, grasses/sedges, woody shrubs and forbs), percent vegetation cover (visually estimated), average

height, and species composition. The percent cover of lichens and mosses was recorded for each site, but species were not identified.

During aerial inspections of a selected site, a lead observer delineated a homogeneous area on the 1:50 000 colour map. The helicopter approached, hovered within 25 m above the ground, and, in many cases, landed briefly within the area. Both observers achieved a consensus of land cover type. Close approach to the ground was necessary to obtain adequate assessment of shrub cover.

Colour photographs were obtained on the ground and from the air during all ground and many aerial inspections. Vegetation samples were collected and identified by J. Hudson using reference materials at the Fraser Herbarium, University of Saskatchewan, Saskatoon. Nomenclature of vascular plants primarily follows Porsild and Cody (1980).

Turbidity of water of lakes, ponds, rivers, and streams was inspected from the air, and each sample was assigned a turbidity category (clear, moderately turbid, or turbid). Measurements of suspended solids (mg/L) and Secchi disk readings (m) were obtained at five lakes for each of the three turbidity categories to assist in the selection of spectral signatures for classification.

2.4 Classification of water and ice

Digital image classification of the three water types was performed using unsupervised classification techniques. Unsupervised classification uses the inherent spectral variability of a scene to define "natural groupings" based on the spectral reflectance of the multispectral image. Pixels of the scene with similar spectral characteristics were assigned to one of these groupings. This technique proved to be efficient in determining the spectral classes for the wide range of spectral values associated with water of lakes and streams and offshore ice cover.

Spectral signatures were obtained from unsupervised classifications of each image for a range of water turbidity conditions. These were grouped into three water turbidity classes — clear water, moderately turbid water, and turbid water — using reference data from aerial inspections of a large number of lakes and streams. These water class signatures were used in the final image classification for each scene.

Spectral signatures were obtained from the unsupervised classifications of each image for the wide range of ice conditions for inland lakes and rivers and offshore ice. Spectral signatures for these ice cover types were grouped to classify ice as one ice cover type, and these were used in the final image classification for each scene. Specific areas of ice were manually assigned to the water turbidity class evident from open water between the ice and the adjacent shorelines. Offshore ice of Queen Maud Gulf was manually assigned to the moderately turbid water class.

2.5 Classification of terrestrial land cover types

Supervised classification was used to classify the 10 terrestrial land cover types. This procedure assigned pixels of the image to specific image classes by comparing the reflectance values for each pixel with the reflectance values of "training areas" — areas of land cover type known from the field investigations. The number of training areas for each class ranged from 20 to 100, and the number of pixels within each training area varied from 12 to 1111. Training areas were delineated on the 1:50 000 colour maps for field inspections, and care was taken to omit patches of other cover types where apparent. Additional editing of training areas was conducted during digital delineation of training areas. A 20% filter (removal of outliers in 10% of each end of reflectance distribution) was applied to obtain the final signature files for each land cover type for the final image classification for each scene.

2.6 Geo-referencing and combining of images

Images were digitally transformed to conform to the Universal Transverse Mercator (UTM) map projection. A smoothing function, to delete areas of one or two pixels in size, was applied to the classification. This minimized the "speckling" effect caused by these small areas and eliminated some small areas likely misclassified due to pixel averaging. This smoothing was not applied to water, active deposit, or exposed peat cover types. A mosaic was created using selected portions of the images to create a cloud-free image of the entire MBS. Two thematic maps were created, one with a UTM zone 13 projection (portion of MBS west of longitude 102 degrees) and one with a UTM zone 14 projection (portion of MBS east of longitude 102 degrees). The total area of the MBS represented by each land cover type was calculated by totalling the pixels assigned to each of the 13 land cover types.

2.7 Accuracy assessment

Accuracy assessment of the classification followed Story and Congalton (1986). A total of 621 independent samples of the 10 terrestrial land cover types and 721 independent samples of the three categories of water turbidity were evaluated to determine how well each land cover type was classified. Classification accuracy based on an individual pixel basis was not possible due to the difficulties of determining the precise locations of individual pixels on the ground.

3. Results and discussion

3.1 Land cover types

Three types of water cover based upon turbidity and 10 terrestrial land cover types were identified and used for the classification of the satellite imagery and the creation of the land cover map of the MBS:

- Water bodies:
  - *Water — clear*: Clear water, usually in bedrock-controlled basins; submerged features visible except at depth; suspended solids average 4.5 mg/L; Secchi disk average 2.8 m.
  - *Water — moderately turbid*: Water somewhat darkened, occasionally aquamarine in hue; substrate and submerged objects visible in shallow depths only; usually some of basin not bedrock-controlled; most common on periphery of bedrock regions; suspended solids average 15.8 mg/L; Secchi disk average 0.9 m.
  - *Water — turbid*: Water very darkened, often appearance of "chocolate milk"; substrate and submerged objects not visible; usually in alluvial areas with little bedrock; suspended solids average 323 mg/L; Secchi disk average 0.2 m.

- Lowlands:
  - *Wet sedge meadow*: Depressions, downslope of snow beds, and shorelines of portions of some drainages and lakes; mosaic of clear standing or slow-moving water and graminoid vegetation; *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, and *Dupontia fisheri* are the dominant species.
  - *Hummock graminoid tundra*: Level to gently sloping plains most often adjacent to shorelines of drainages and lakes; irregularly shaped hummocks with intervening troughs have a distinctive "pillow" appearance from the air; *Carex aquatilis* (*stans*), *Festuca brachyphylla*, and *Arctagrostis latifolia* are the dominant species; low prostrate shrub cover is usually less than 10%.
  - *Tussock graminoid tundra*: Level to gently sloping plains, often beyond hummock graminoid tundra, adjacent to drainages and lakes; frequent in small patches in depressions on the crests of upland ridges; tussocks have a distinctive "pebbly" appearance from the air; *Eriophorum vaginatum* is the dominant species; low prostrate shrub cover is less than 25%.
  - *Low shrub tundra*: Most common along drainages; mixture of tussocks of *Eriophorum vaginatum*, hummocks, and low prostrate or low erect shrubs; *Eriophorum vaginatum*, *Betula glandulosa*, and *Salix planifolia* are the dominant species; shrub cover varies from 25% to 75%.
  - *Shrub thicket*: Most abundant along the immediate shorelines of drainages and lakes and in protected depressions along valley slopes; similar to low shrub tundra, except low shrubs are the dominant vegetation cover, varying from 75% to 100%.

- Uplands:
  - *Moss-lichen tundra*: Sand and sand/gravel deposits on lower slopes and some crests of eskers and ridges, terraces, and major drainages; extensive moss and lichen cover, patches of heath, scattered small boulders, and areas of exposed gravel or sand.
  - *Lichen-heath tundra*: Middle to upper slopes and crests of ridges and eskers, shallow depressions in boulder fields and bedrock outcrops; lichen, mosses, and ericaceous plants are the dominant species; exposed substrate <25%.
  - *Bedrock and boulder field*: Ridges of consolidated bedrock outcrop or broken boulder fields; small ponds or patches of tussock graminoid tundra may occur in small depressions; moss and lichen growth in crevices and small depressions; crustose lichens on many rock outcrops and boulders; exposed substrate >75%.

- Uplands and lowlands:
  - *Active deposits*: Exposed coastal sediments of coastline, often deltas; exposed lake bottoms; cutbanks along drainages with active erosion of glacio-lacustrine deposits or marine sediments; vegetation cover <5% or none.
  - *Exposed peat*: Hygric to hydric, dark brown, exposed peat bottoms of ponds in wet sedge meadows occur during natural drawdown of water levels; mesic, light to dark brown peat is exposed in and near goose nesting colonies by destruction of vegetation cover, including shredding of *Eriophorum vaginatum*

tussocks, when geese build nests and forage during the nesting period; vegetation cover is minimal and residual.

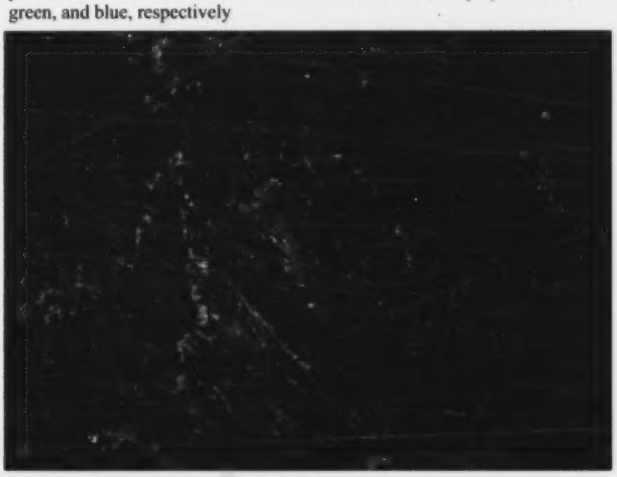
These land cover types were those that were readily identifiable from ground and low-altitude aerial inspection, had distinct vegetative, surficial terrain, and moisture characteristics, were useful for describing lowland and upland habitat availability for a variety of wildlife species, and were amenable for image classification with reasonable accuracy. Ground and aerial views of these land cover types and descriptions of their colour on the image enhancement, topographic position, surficial expression, substrate, ecological moisture regime, and vegetation are provided in Appendix 2.

Identification of species of lichens and mosses was very limited in our examination and description of terrestrial land cover types. A detailed review and summary of plant communities associated with various surficial materials in north-central Keewatin, Northwest Territories (Edlund 1982), is an excellent source for determining the species of lichens and mosses that are likely to occur in the land cover types of this study.

In some cases, there can be a clear, abrupt transition between adjacent land cover types (Fig. 2). In most cases, however, there is an irregular and gradual transition between adjacent cover types, particularly with lowland land cover types.

Figure 2
Illustration of distinct boundaries between adjacent land cover types, in this case a bedrock outcrop and a small lake

Figure 3
An example of an image enhancement using a power stretch of Band 4, a power stretch of Band 5, and a linear stretch of Band 2, displayed in red, green, and blue, respectively



3.2 Visual interpretation of enhancement

Power stretches of Bands 4 and 5 (power = 2.0) and a linear stretch of Band 2, displayed in red, green, and blue, respectively, were an effective means of displaying the image data. This enhancement, effective both for visual interpretation and for preparing colour maps for field studies, allowed discrimination of lowland and upland land cover types of interest (Fig. 3).

Active deposits, with sparse or no vegetation, were readily identified by their brightness due to high reflectance. The bedrock outcrops and boulder fields, and, to a lesser extent, lichen-heath tundra, were also readily detected by their dark coloration due to lower reflectance. The three categories of water turbidity, particularly turbid water bodies, were clearly evident.

The combination of a high biomass of graminoids within and adjacent to areas of surface water in wet sedge meadows, usually within well-defined depressions, allowed excellent detection of this land cover type. Borders of this land cover type were usually very distinct. Other lowland land cover types — hummock graminoid tundra, tussock graminoid tundra, low shrub tundra, and shrub thicket — were also fairly distinct on this enhancement. Areas of confusion were likely due to variations in surface moisture, shrub cover, and slope. This was particularly true with tussock graminoid tundra, low shrub tundra, and shrub thicket land cover types. The exposed peat land cover type associated with goose nesting colonies was readily evident, with high reflectance in Band 5 and low reflectance in Band 4.

This three-band enhancement can be an effective tool for distinguishing between uplands and lowlands within the MBS and can allow discrimination between lowland communities with little or no shrub cover and those with significant shrub cover. Ranges of colours for this three-band enhancement for each water turbidity class and terrestrial land cover type are provided in Appendix 2.

3.3 Classification of land cover

The collection of extensive ground data for the generation of training signatures proved effective in the creation of a land cover map for the Queen Maud Gulf MBS. The 13 land cover types selected provided an appropriate level of detail for mapping and addressed the land cover types of particular interest for wildlife habitat assessments.

An additional lowland cover type, coastal graminoid turf, was identified and considered to be an important land cover type. It was found in small patches along the immediate coastline of Queen Maud Gulf, particularly near the mouths of rivers and streams. It was associated with marine clay and silt deposit near the high tide line and was characterized by a mosaic of low turf islands, exposed clays and silts, water channels, or pools of shallow water. *Puccinellia phryganodes*, *Carex subspathacea*, and *Carex*

ursina are the dominant species. Because of the small patch size and the mosaic nature, with high variations in the proportions of vegetation, exposed sediment, and water, this land cover type was not successfully classified. Although errors in classification could be manually removed from the interior, the classification for this land cover along the coastline consistently included extensive areas of shoreline sediments without graminoid turf vegetation. This land cover type is important for some species of migratory birds, and its presence can be predicted with some reliability, since it is associated with marine clay and silt deposits in the immediate vicinity of the mouths of rivers entering Queen Maud Gulf. It is rarely along bedrock-controlled shorelines. More details regarding its appearance and vegetation composition are provided with the other land cover types in Appendix 2.

During field visits, aerial inspections, and digital analyses of the imagery, we attempted to identify a spectral class for a land cover type called transitional low shrub tundra. This class would have represented an intermediate form between the low shrub cover of a tussock graminoid tundra (<25%) and the more dense shrub cover of the low shrub tundra (50–75%). However, variations in shrub cover within sample areas, and probably subtle variations in moisture and slope, resulted in low classification accuracy when we tried to separate these classes. We therefore used the current low shrub land cover type to include a range of 25–75% shrub cover.

Land cover maps in electronic format are provided with this report on the accompanying CD-ROM.

3.4 Accuracy of classification

We can ascertain the accuracy of our classification with some confidence by using a large, independent sample of ground sites identified during field visits. We have used an accuracy assessment procedure following Story and Congalton (1986), which provides a means of evaluating the reliability of the maps. Producer's accuracy represents how well a specific area of land of the MBS can be mapped. It is derived by calculating the percentage of reference areas of a particular land cover type that were correctly classified and therefore represents the probability that a reference sample will be correctly classified. This accuracy value provides an estimate of omission error.

A sample area used for accuracy assessment was considered correctly classified if >50% of the pixels were correctly classified and the shape of the training area was clearly defined by the correct land cover type (i.e., misclassified pixels were scattered within the sample area).

However, there are also errors of commission when land cover types are misclassified. Users of classified maps are equally, or perhaps more, concerned about how well the maps represent what is actually on the ground. If a user travels to a site indicated on the map as a particular land cover type, the user's accuracy estimate provides an estimate of the probability that the particular land cover type is actually present at that site.

3.4.1 Water

During aerial inspections of water bodies, both observers were generally in agreement regarding assignment of water bodies to one of the three turbidity categories. The classification of the 15 lakes with water samples resulted in all five clear lakes, four of the five moderately turbid lakes, and all five turbid lakes being correctly classified based on the distinct differences in measured turbidity and Secchi disk values (Table 2).

Table 2
Turbidity and Secchi disk measurements of lakes of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut (mean and range of values)

Lake	Turbidity (mg/L)	Secchi disk (m)
Clear (n = 5)	4.5 (2–8)	2.8 (2.0–4.0)
Moderately turbid (n = 5)	15.8 (11–28)	0.9 (0.6–1.4)
Turbid (n = 5)	323.0 (54–945)	0.2 (0.1–0.4)

Overall classification accuracy for water turbidity types was 84%, but both producer's and user's accuracy values indicated that we were more successful in detecting and mapping turbid water and clear water (Table 3). This was expected, since the range of turbidity of moderately turbid lakes was broad. No turbid lakes were classified as clear lakes, and no clear lakes were classified as turbid lakes.

Clear lakes were most common in regions of extensive bedrock outcrop and lichen-heath tundra with bedrock-controlled shorelines. Turbid lakes were most common in the alluvial and glacio-lacustrine plains of major drainages where fine silts and clays were characteristic of shoreline substrates. Thaw lakes were common in these areas and were frequently very turbid. Moderately turbid lakes tended to occur on the peripheries of these two types of areas.

3.4.2 Land

Overall classification accuracy for terrestrial land cover types was 89%, and producer's and user's accuracy values indicated that most individual land cover types were well classified (Table 4).

Wet sedge meadow was very distinct and was classified accurately, reflecting its hygric conditions, high biomass, and occurrence within well-defined basins. Occasional misclassifications of shrub thicket or low shrub tundra may be attributed to the occurrence of shrub growth in hydric situations along some drainages and low shorelines of lakes. Hummock graminoid tundra and tussock graminoid tundra were occasionally confused but were still well separated in the classification. Misclassifications may have resulted from inclusions of one land cover type within another, which were not deleted during delineation and editing of some training areas. There was similar overlap of land cover types with varying shrub cover (tussock graminoid tundra, low shrub tundra, and shrub thicket), but classification accuracy was still high for these land cover types.

Classification accuracy of upland land cover types was high, but some misclassifications were expected, since these land cover types were defined by the proportion of exposed substrate and vegetation. Lichen-heath tundra includes exposed boulders, rock outcrop, or sands and gravel, and, in turn, a portion of the bedrock and boulder field land cover type contains depressions that support lichen, moss, and heath growth.

The high reflectance of exposed sediments resulted in a very high classification accuracy, and these areas were

Table 3
Producer's and user's accuracies of classification of water bodies of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

		Reference data (number of sites sampled)				
		Clear	Moderately turbid	Turbid	Row total	User's accuracy[a] (% correct)
Classified data	Clear	**206**	40	0	246	84
	Moderately turbid	36	**186**	19	241	77
	Turbid	0	20	**214**	234	91
	Column total	242	246	233	**721**	
	Producer's accuracy[b] (% correct)	85	76	91		
				Overall accuracy = 84%		

[a] User's accuracy indicates the probability that a unit from a classified map actually represents that type on the ground.
[b] Producer's accuracy indicates the probability that an area on the ground will be classified accurately.

Table 4
Producer's and user's accuracies of classification of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

		Reference data (number of sites sampled)[a]											
		WSM	HGT	TGT	LST	ST	MLT	LHT	BBF	AD	EP	Row total	User's accuracy[b] (% correct)
Classified data	WSM	**98**				1						99	99
	HGT		**43**	8	1							52	83
	TGT		10	**48**	1		10	2				71	68
	LST	1		7	**73**	3						84	87
	ST	1			9	**38**						48	79
	MLT						**43**	2				45	96
	LHT						3	**96**	1			100	96
	BBF						1	8	**65**			74	88
	AD						1			**35**		36	97
	EP										**12**	12	100
	Column total	100	53	63	84	42	58	108	66	35	12	**621**	
	Producer's accuracy[c] (% correct)	98	81	76	87	90	74	89	98	100	100		
							Overall accuracy = 89%						

[a] Abbreviations used: WSM = wet sedge meadow; HGT = hummock graminoid tundra; TGT = tussock graminoid tundra; LST = low shrub tundra; ST = shrub thicket; MLT = moss-lichen tundra; LHT = lichen-heath tundra; BBF = bedrock and boulder field; AD = active deposits; EP = exposed peat.
[b] User's accuracy indicates the probability that a unit from a classified map actually represents that type on the ground.
[c] Producer's accuracy indicates the probability that an area on the ground will be classified correctly.

effectively mapped within the MBS. The unique surface characteristics of the exposed peat in goose nesting colony areas, a relatively dry yet dark surface with minimal biomass, and the low reflectance in Band 4 and high reflectance in Band 5 also resulted in a high classification accuracy.

Errors of commission were usually associated with assignment of land cover type to the most similar land cover type (e.g., low shrub tundra versus shrub thicket, or bedrock versus lichen-heath tundra). The distribution of classified pixels rather than entire sample areas used in the accuracy assessment allows an examination of this situation (Table 5). For example, bedrock and boulder fields were rarely classified within wet sedge meadows. When this did occur, it may have resulted from the occurrence of small outcrops of bedrock within or along the periphery of the sample areas that were included during their delineation and that were not excluded by editing. Because of these close associations of land cover type, the occurrence of patches of lichen-heath within bedrock areas, for example, likely represents the composite nature of the land cover type rather than errors of commission.

The land cover maps were "smoothed" to eliminate small patches of land cover such that minimum contiguous areas are restricted to three or more pixels. This process removes some of the "speckling" effect caused by scattered single or double pixel patches. Speckles may represent error in classification due to pixel averaging or actual small patches of one land cover type embedded within another. The producer's and user's accuracies were calculated using the raw classification data, and the values presented in Table 4 may be biased somewhat low.

Table 5
Distribution of pixel classifications within test samples of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

		Reference data[a,b]									
		WSM	HGT	TGT	LST	ST	MLT	LHT	BBF	AD	EP
Classified data	WSM	**16 693**	159	310	57	145	24	430	58	0	0
	HGT	61	**6 392**	2 420	929	6	258	5	8	0	0
	TGT	28	1 296	**10 748**	901	56	1 669	274	9	1	8
	LST	167	571	1 895	**9 901**	897	23	60	2	8	1
	ST	322	3	55	1 938	**2 941**	0	0	0	0	0
	MLT	426	88	148	54	1	**6 553**	1 119	41	4	21
	LHT	127	4	49	70	0	991	**15 502**	705	0	4
	BBF	51	0	0	0	0	172	2 856	**8 296**	1	1
	AD	50	23	25	13	26	112	22	111	**5 993**	1
	EP	16	4	47	0	0	207	39	8	0	**560**

[a] Abbreviations used: WSM = wet sedge meadow; HGT = hummock graminoid tundra; TGT = tussock graminoid tundra; LST = low shrub tundra; ST = shrub thicket; MLT = moss-lichen tundra; LHT = lichen-heath tundra; BBF = bedrock and boulder field; AD = active deposits; EP = exposed peat.
[b] Surface water present in WSM (402 pixels), in BBF (22 pixels), and in AD (54 pixels).

4. Management and research opportunities

Digital analysis of LANDSAT and other satellite imagery is an effective way to create land cover maps for wildlife habitat assessment. Reasonable mapping accuracy can be obtained if sufficient ground sampling is conducted to develop classification signatures and if a reasonable mapping scale is selected. Costs of satellite image products, image processing, and field studies are relatively high, but the time and costs associated with conventional procedures (air photo acquisition and interpretation and manual mapping) would, in most cases, not allow mapping of such a large and remote area.

The total area for each land cover type can be readily calculated from the classified maps (Table 6), and land cover maps of varying scale and with various combinations of land cover types can be readily generated.

Creation of habitat maps from digital satellite imagery allows production of geo-referenced maps, which in turn can allow production of hardcopy map products as well as integration with other digital databases and maps in a GIS. The latter will become an increasingly important advantage of using digital remote sensing products for land cover mapping.

These maps will facilitate the primary objective, the review of the MBS boundaries. These land cover maps will also facilitate a variety of wildlife research and monitoring activities within the MBS, including the use of selected land cover types by a variety of wildlife species using past, current, and future population survey data (e.g., Butler et al. 1995).

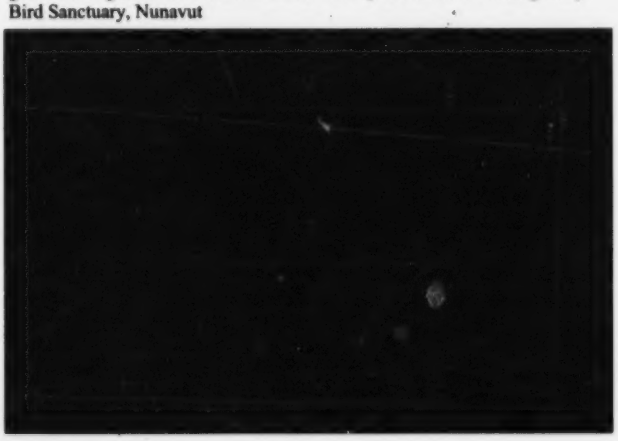
In the vicinity of nesting colonies of Ross' and Snow geese, there is clear evidence of degradation of mesic graminoid communities caused by nest building and foraging by geese (Fig. 4). This damage has also been documented at various locations along the western coast of Hudson Bay (Kerbes et al. 1990). Remote sensing has been effective in detecting and mapping the exposed dry peat along the western coast of Hudson Bay (A. Didiuk, unpubl. data) and during this project and provides a means of evaluating the spatial extent of this damage, the rate of increase of area of damage, and recovery of vegetation.

Remote sensing in Arctic regions can be hampered by a variety of logistical constraints (Ferguson 1991). Availability of imagery can be limited due to cloud cover (particularly in coastal regions), the relatively short growing season, and

Table 6
Summary of areal extent of land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

Land cover type	Area (km^2)	% of total
Offshore water	6 463	10.3
Fresh water		
Clear	7 214	11.5
Moderately turbid	3 222	5.1
Turbid	1 231	2.0
Total	11 667	18.6
Wet sedge meadow	4 857	7.7
Hummock graminoid tundra	2 594	4.1
Tussock graminoid tundra	4 534	7.2
Low shrub tundra	4 959	7.9
Shrub thicket	1 045	1.7
Moss-lichen tundra	3 370	5.4
Lichen-heath tundra	15 937	25.3
Bedrock and boulder field	5 810	9.2
Active deposits	1 381	2.2
Exposed peat	276	0.4
Total	62 893	100.0

Figure 4
Areas classified as exposed peat (red) in the vicinity of Ross' and Snow goose nesting colonies at Karrak Lake in the Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut



orbital frequencies of remote sensing satellites. Field inspections in these areas can only be conducted using a helicopter, which requires the costly placement of fuel for the helicopter. However, the relatively slow rate of natural change in land cover type compared with more southern regions (e.g., forest fires) and very limited land use (e.g., forestry or agriculture) suggest that land cover classifications may be accurate for longer time periods.

5. Recommendations

Current information regarding the environment in "protected" and other areas of Nunavut and the Northwest Territories will be required to assess the implications of increased mineral exploration and various types of resource extraction. Land cover mapping using satellite imagery and digital processing technologies is an effective means of creating terrain maps for impact assessment.

Increasing populations of Snow Geese and other species of geese in the central Arctic and elsewhere raise concerns regarding habitat destruction, disease, and conflicts with agriculture on migration and wintering areas. Monitoring of goose species and their nesting and brood-rearing habitats will require habitat mapping in order to develop effective survey designs to monitor population size and distribution, to monitor habitat change over time, and to understand habitat requirements and preferences by the various species.

Creation of land cover maps similar to those prepared for this project is recommended for other migratory bird sanctuaries within Nunavut where large numbers of waterfowl nest and other wildlife species reside, and where habitat degradation concerns may exist. Areas of first consideration include the McConnell River, J. Dewey Soper, and Harry Gibbons migratory bird sanctuaries in the eastern Arctic.

Literature cited

Butler, W.I., Jr.; Stehn, R.A.; Balogh, G.R. 1995. GIS for mapping waterfowl density and distribution from aerial surveys. Wildl. Soc. Bull. 23:140–147.

Conservation Advisory Committee. 1990. A review of the boundaries of bird sanctuaries in the Northwest Territories. Conservation Advisory Committee on the Northern Mineral Policy, Department of Indian Affairs and Northern Development, Ottawa. 15 pp.

Dickson, H.L.; Jacques, D.; Barry, S.; Telfer, E.S.; Smith, A.R. 1989. Identification of nesting and staging shorebird areas in the Mackenzie River delta and Richards Island area, Northwest Territories using Landsat Thematic Mapper imagery 1985–87. Project Report c7.3. Northern Oil and Gas Action Program, Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Edmonton. 133 pp.

DIPIX. 1987. ARIES system user's manual. Part 2. DIPIX Technologies Inc., Ottawa.

Edlund, S.A. 1982. Plant communities on the surficial materials of north-central district of Keewatin, Northwest Territories. GSC Paper 80-33. Geological Survey of Canada, Department of Energy, Mines and Resources. 19 pp.

Ferguson, R.S. 1991. Detection and classification of muskox habitat on Banks Island, Northwest Territories, Canada, using Landsat Thematic Mapper data. Arctic 44(Suppl. 1):66–74.

Gavin, A. 1947. Birds of Perry River district, Northwest Territories. Wilson Bull. 59:195–203.

Hanson, H.C.; Queneau, P.; Scott, P. 1956. The geography, birds and mammals of the Perry River region. Special Publication No. 3. Arctic Institute of North America, University of Calgary, Calgary. 96 pp.

Harvie, J.M.; Cihlar, J.; Goodfellow, C. 1982. Surface cover mapping in the Arctic through satellite remote sensing. User's Manual 82-1. Canada Centre for Remote Sensing, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa. 61 pp.

Heard, D. 1989. Bathurst herd. In: E. Hall (ed.), People and caribou in the Northwest Territories. Department of Renewable Resources, Government of the Northwest Territories. 190 pp.

Kerbes, R.H. 1994. Colonies and numbers of Ross' Geese and Lesser Snow Geese in the Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary. Occasional Paper No. 81. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa. 47 pp.

Kerbes, R.H.; McLandress, M.R.; Smith, G.E.J.; Beyersbergen, G.W.; Godwin, B. 1983. Ross' Goose and Lesser Snow Goose colonies in the central Canadian arctic. Can. J. Zool. 61:168–173.

Kerbes, R.H.; Kotanen, P.M.; Jefferies, R.L. 1990. Destruction of wetland habitats by Lesser Snow Geese: a keystone species on the west coast of Hudson Bay. J. Appl. Ecol. 27:242–258.

Markon, C.J.; Derksen, D.V. 1994. Identification of tundra land cover near Teshekpuk Lake, Alaska, using SPOT satellite data. Arctic 47:222–231.

McLandress, M.R. 1983. Temporal changes in habitat selection and nest spacing in a colony of Ross' and Lesser Snow Geese. Auk 10:335–343.

Petersen, G.H. 1987. Ground cover mapping on the winter range of the Beverley barren-ground caribou herd using remote sensing techniques: An aid to management. M.Sc. thesis, Faculty of Environmental Design, University of Calgary, Calgary. 111 pp.

Porsild, A.E.; Cody, W.J. 1980. Vascular plants of continental Northwest Territories, Canada. National Museum of Natural Sciences, National Museums of Canada, Ottawa. 667 pp.

Ryder, J.P. 1967. The breeding biology of the Ross' Goose in the Perry River region, Northwest Territories. Report Series No. 3. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa. 55 pp.

Ryder, J.P. 1969. Nesting colonies of Ross' Goose. Auk 86:282–292.

Ryder, J.P. 1971. Distribution and breeding biology of the Lesser Snow Goose in central Arctic Canada. Wildfowl 22:18–28.

Ryder, J.P. 1972. Biology of nesting Ross' Geese. Ardea 60:185–215.

Shasby, M.; Carneggie, D. 1986. Vegetation and terrain mapping in Alaska using Landsat MSS and digital terrain data. Photogramm. Eng. Remote Sens. 52:779–786.

Short, N.M. 1982. The Landsat tutorial workbook — Basics of satellite remote sensing. NASA Reference Publication 1078. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C. 553 pp.

Showengerdt, R.A. 1983. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press, New York. 249 pp.

Slattery, S.M. 1994. Neonate reserves, growth and survival in Ross' and Lesser Snow Goose goslings. M.Sc. thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon.

Story, M.; Congalton, R.G. 1986. Accuracy assessment: A user's perspective. Photogramm. Eng. Remote Sens. 52:397–399.

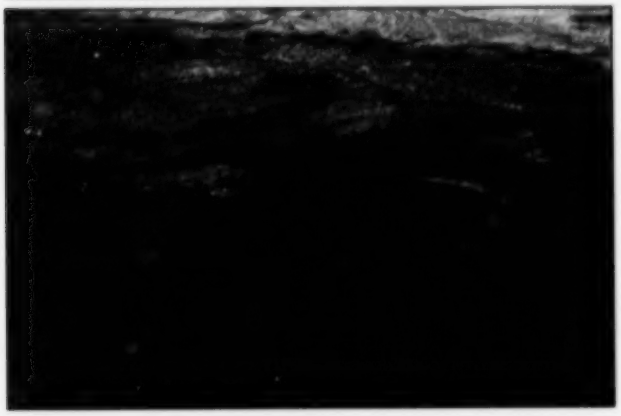
Thompson, D.C.; Klassen, G.H.; Cihlar, J. 1980. Caribou habitat mapping in the southern district of Keewatin, NWT: An application of digital Landsat data. J. Appl. Ecol. 17:125–138.

Wakelyn, L.A. 1990. Wetland inventorying and mapping in the Northwest Territories using digital Landsat data. File Report No. 96. Department of Renewable Resources, Government of the Northwest Territories, Yellowknife. 76 pp.

Appendix 1
Dates and track and frame identifiers of LANDSAT TM images used for land cover classification of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut

Satellite	Image date	Image size	Track	Frame
LANDSAT5	16 July 1989	full scene	39	13
LANDSAT5	5 August 1991	quadrat 8	41	13
LANDSAT5	14 July 1989	full scene	41	13
LANDSAT5	19 August 1988	full scene	42	13
LANDSAT5	5 August 1986	quadrat 12	43	12
LANDSAT5	5 August 1986	quadrat 3	43	12
LANDSAT5	20 July 1992	full scene	43	13

Appendix 2
Land cover types of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut



CLEAR WATER BODIES

Bands 4,5,2 Enhancement: Dark blue to black.

Topographic Position: Most commonly found in areas with bedrock-controlled shorelines.

Turbidity: Clear; substrate and submerged features are clearly visible except in deepest parts of water body.

Total Suspended Solids	Average 4.5 mg/L
Secchi Disk	Average 2.8 m

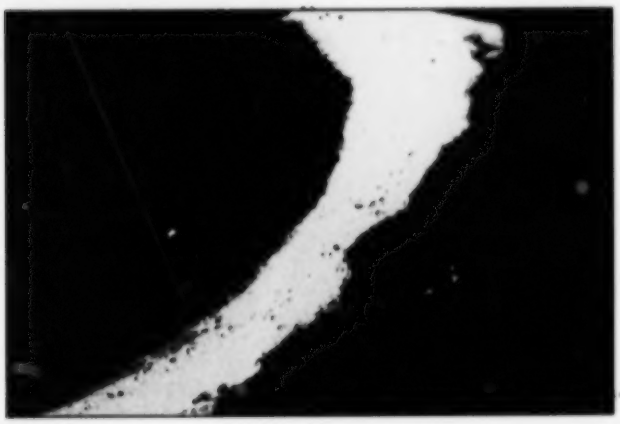
MODERATELY TURBID WATER BODIES

Bands 4,5,2 Enhancement: Medium blue.

Topographic Position: Usually with portion of shoreline not bedrock-controlled; common on edges of regions of bedrock.

Turbidity: Variable; substrate and submerged features visible only in depths of <1 m; occasional aquamarine coloration.

Total Suspended Solids	Average 15.8 mg/L
Secchi Disk	Average 0.9 m



TURBID WATER BODIES

Bands 4,5,2 Enhancement: Violet to light purple.

Topographic Position: Located almost always in alluvial plains along major drainages; thaw lakes and channels in marine silts and glacio-lacustrine deposits.

Turbidity: Distinct light to medium brown colour; substrate and submerged objects not visible.

Total Suspended Solids	Average 323 mg/L
Secchi Disk	Average 0.2 m

WET SEDGE MEADOW

Bands 4,5,2 Enhancement: Dark maroon (extensive surface water) to bright red (limited surface water).

Topographic Position: Lowlands, depressions, small drainage channels, snow patch fens; occasionally adjacent to lakes and ponds.

Surficial Expression: Generally level or gently sloping areas beneath and downslope from snow beds; also low-centre polygons or localized patches in hummock and tussock terrain.

Substrate: Saturated sedge peat, some sphagnum peat, overlying poorly drained and saturated fine glacial deposits or marine silts and clays.

Moisture Regime: Hydric, with standing or gently flowing fresh water; hygric in slightly more elevated areas and in areas of drawdown of water level.

Vegetation: A complex of surface water, sedges and grasses, and exposed peat in drawdown areas. In shallow water and on saturated peats, there is a complete cover of sedges, primarily *Carex aquatilis* (*stans*), mosses, *Eriophorum angustifolium* and *Eriophorum vaginatum*, and *Dupontia fisheri*. Other grasses and forbs include *Eriophorum russeolum*, *Poa arctica*, *Carex rariflora*, *Potentilla palustris*, *Pedicularis sudetica*, *Saxifraga hirculus*, *Saxifraga foliolosa*, and *Polygonum viviparum*. Emergents in deeper water include *Arctophila fulva*, *Hippuris vulgaris*, *Carex aquatilis* (*stans*), *Caltha palustris*, and *Ranunculus gmelinii*. Coastal wet sedge meadows on marine clays are often dominated by *Arctagrostis latifolia* and *Dupontia fisheri*. Vascular plant cover ranges from 40 to 100%, averaging 85%. Height ranges from 10 to 25 cm, averaging 15 cm.

HUMMOCK GRAMINOID TUNDRA

Bands 4,5,2 Enhancement: Yellow to yellowish-green; tussocks of *Eriophorum vaginatum* more frequent in yellowish-green areas.

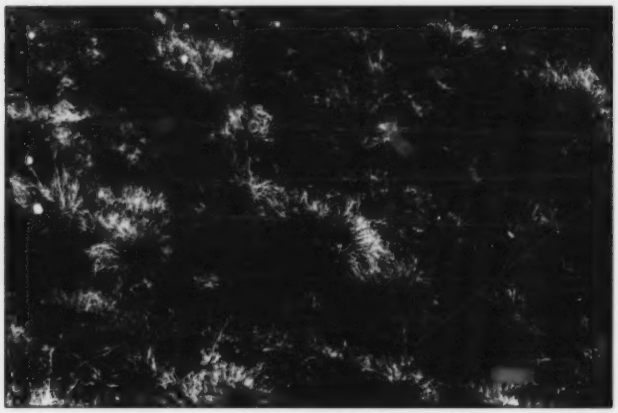
Topographic Position: Lowlands, generally adjacent to shorelines of drainages, lakes, and large ponds.

Surficial Expression: Usually level terrain with characteristic rounded hummocks. Diameter of hummocks 75–160 cm, averagé 100 cm; height of hummocks 15–35 cm, average 24 cm. Width of intervening troughs 5–45 cm, average 26 cm. In some areas, abundant frost boils with exposed mineral soil.

Substrate: Generally sedge peat overlying marine clays and silts or glacial sands, clays, and silts.

Moisture Regime: Mesic crests of hummocks; mesic to hygric intervening troughs.

Vegetation: Characteristic hummocks dominated by *Carex aquatilis* (*stans*), *Festuca brachyphylla*, and *Arctagrostis latifolia*, with occasional tussocks of *Eriophorum vaginatum*. Crests of hummocks support occasional prostrate shrubs, including *Salix arctica*, *Salix arctophila*, *Salix reticulata*, and *Dryas integrifolia*, a variety of ericaceous shrubs, including *Ledum decumbens*, *Cassiope tetragona*, *Vaccinium vitis-idaea*, and *Vaccinium uliginosum*, and herbs and grasses, including *Potentilla nivea*, *Parrya arctica*, *Cerastium alpinum*, *Stellaria longipes*, *Alopecurus alpinus*, *Saxifraga hieracifolia*, *Saxifraga cernua*, *Melandrium apetalum*, *Hierochloe alpina*, *Antennaria ekmaniana*, *Castilleja elegans*, and *Pyrola grandiflora*. Low erect shrubs, *Betula glandulosa* and *Salix planifolia*, are uncommon. Troughs support moss carpets and occasional *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, *Petasites frigidus*, *Ranunculus pedatifidus*, and *Pedicularis sudetica*. Generally 100% vascular plant cover. Height ranges from 5 to 25 cm, averaging 10 cm.



TUSSOCK GRAMINOID TUNDRA

Bands 4,5,2 Enhancement: Light to medium green; darker hues may represent greater surface moisture.

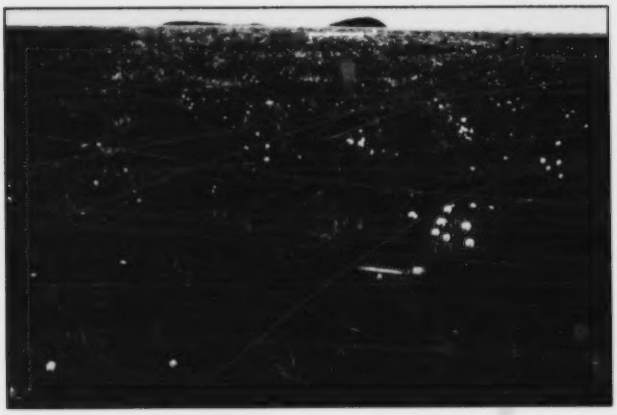
Topographic Position: Lowlands, level plains adjacent to drainages, or depressions in uplands; gentle slopes between drainages and lakes.

Surficial Expression: Fairly regular pattern of distinct, hemispherical tussocks of *Eriophorum vaginatum* with intervening troughs, occasional scattered hummocks. Diameter of tussocks 15–45 cm, average 30 cm; height of tussocks 10–30 cm, average 19 cm. Width of intervening troughs 15–40 cm, average 26 cm.

Substrate: Predominantly sedge peat with very small patches of sphagnum peat in some troughs, overlying clay, sand, and marine silts.

Moisture Regime: Mesic to hygric; troughs between tussocks tend to be hygric.

Vegetation: Dominated by *Eriophorum vaginatum* tussocks, which comprise up to 80% of cover. Occasional *Eriophorum angustifolium*, *Carex aquatilis* (*stans*), and *Arctagrostis latifolia* occur on the edges of tussocks and in troughs. Low erect shrubs, *Betula glandulosa*, *Salix lanata*, and *Salix arctophila*, comprise up to 25%, average 15%, of total cover, occur on the crests and edges of tussocks, and are generally <50 cm high. Occasional species on tussocks and scattered hummocks include dwarf prostrate shrubs *Salix arctica*, *Salix herbacea*, *Salix reticulata*, and *Dryas integrifolia* and forbs *Pedicularis lapponica*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Saxifraga cernua*, *Polygonum viviparum*, *Cerastium alpinum*, and *Pyrola grandiflora*. Intervening troughs are primarily exposed peat and hydrophytic moss carpets with occasional *Caltha palustris*, *Petasites frigidus*, *Pedicularis sudetica*, *Potentilla palustris*, *Saxifraga cernua*, and *Saxifraga hieracifolia*. Between 80 and 100% vascular plant cover. Height from 5 to 40 cm, averaging 15 cm, with peat and moss carpets in troughs.



LOW SHRUB TUNDRA

Bands 4,5,2 Enhancement: Olive-brown to varying shades of orange.

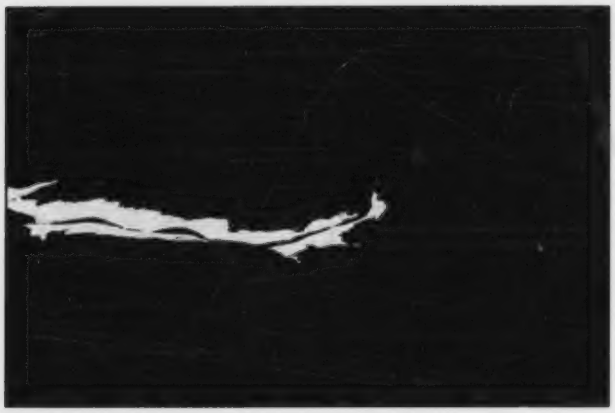
Topographic Position: Lowlands, particularly level to gently sloping plains associated with high-centred polygons in mesic, sheltered sites.

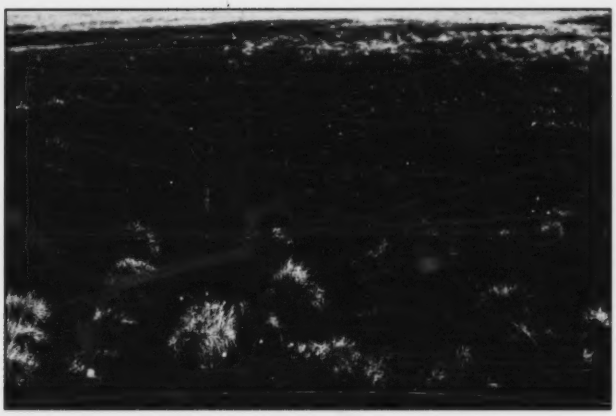
Surficial Expression: Generally level to gently sloping but variable; most sites characterized by tussocks of *Eriophorum vaginatum*. Tussock heights 15–30 cm, average 20 cm; tussock widths 15–50 cm, average 30 cm. Hummock heights 15–35 cm, average 25 cm; hummock widths 60–150 cm, average 90 cm. Trough widths 15–300 cm, average 35 cm.

Substrate: Predominantly sedge peat overlying clay, silt, or alluvium; localized sand and gravel deposits in areas of high-centred polygons.

Moisture Regime: Mesic tussocks and hummocks; hygric troughs between tussocks or hummocks.

Vegetation: Low erect shrubs provide 25–75%, average 45%, total cover. Most common are *Eriophorum vaginatum* tussocks supporting low erect willows, primarily *Salix planifolia*, or a mixture of tussocks of *Eriophorum vaginatum* and larger hummocks supporting both *Salix planifolia* and *Betula glandulosa*. In hygric troughs, mosses are abundant; *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, *Potentilla palustris*, *Caltha palustris*, and *Pedicularis sudetica* are common, and *Petasites frigidus*, *Petasites sagittatus*, *Saxifraga hirculus*, *Ranunculus pedatifidus*, *Arctagrostis latifolia*, and *Dupontia fisheri* occur occasionally. *Salix reticulata*, *Salix arctophila*, *Pedicularis flammea*, *Pedicularis lapponica*, *Alopecurus alpinus*, *Astragalus alpinus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Cerastium* sp., *Saxifraga cernua*, *Polygonum viviparum*, and *Pyrola grandiflora* occur occasionally on mesic hummocks and tussocks. Vascular plant cover ranges from 70 to 100%, average 90%, and height of shrubs from base of tussocks or hummocks ranges from 15 to 85 cm, average 30 cm.





SHRUB THICKET

Bands 4,5,2 Enhancement: Dark orange to varying shades of reddish brown.

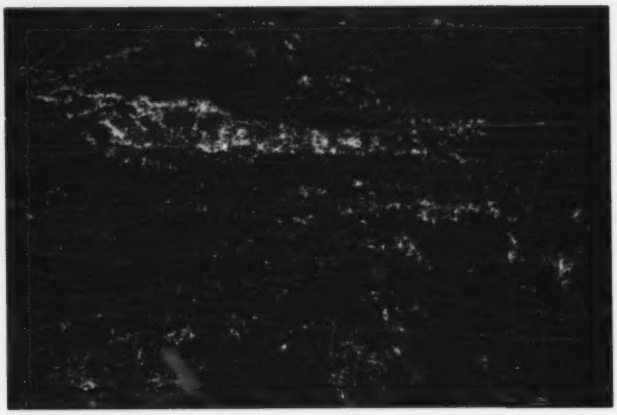
Topographic Position: Lowlands, particularly level to gently sloping plains associated with major drainages, alluvial deposits along the shorelines on islands of major rivers, and sheltered mesic depressions along valley slopes; shorelines and islands of small and large drainages.

Surficial Expression: Generally level to gently sloping, but variable; heights and widths of tussocks of *Eriophorum vaginatum*, and widths of intervening troughs, similar to low shrub tundra.

Substrate: Sedge peat overlying clay, silt, and alluvium; localized sand and gravel deposits in areas of high-centred polygons, along drainage shorelines, and on islands.

Moisture Regime: Mesic valley slopes and levees along drainages; hygric depressions.

Vegetation: Low erect shrubs provide 75–100%, average 90%, total cover. Most common are dense thickets of *Salix planifolia* or *Betula glandulosa*. Understory is similar to low shrub tundra, with tussocks of *Eriophorum vaginatum* the most abundant ground cover. In hygric troughs, mosses are abundant, with occasional *Carex aquatilis* (*stans*) and *Eriophorum angustifolium* in more open areas. *Petasites frigidus*, *Petasites sagittatus*, *Arctagrostis latifolia*, and *Dupontia fisheri* occur occasionally. Vascular plant cover ranges from 80 to 100%, average 90%. Height of shrubs from base of tussocks ranges from 15 to 100 cm, average 50 cm.



MOSS-LICHEN TUNDRA

Bands 4,5,2 Enhancement: Bright blue-green.

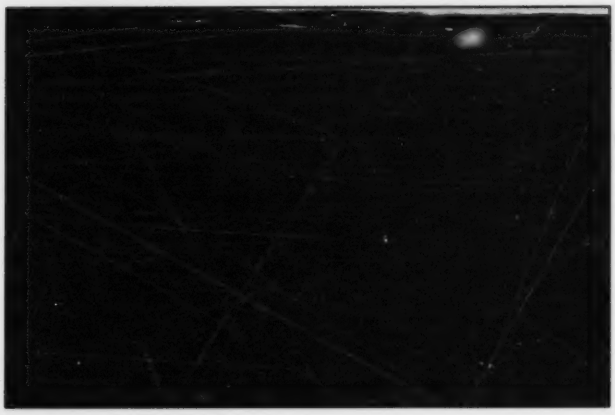
Topographic Position: Uplands, glacial deposits on lower slopes of eskers, long gentle slopes and terraces, and other glacial-lacustrine deposits; sand and sand-gravel deposits along major drainages.

Surficial Expression: Level to undulating, with frequent frost-crack polygons or other surface irregularities.

Substrate: Sand, gravel, and other outwash material. Exposed boulders are common; small rock outcrops are uncommon.

Moisture Regime: Xeric to mesic; may be seasonally saturated.

Vegetation: Dominated by mosses *Rhacomitrium* sp., *Aulacomnium* sp., and *Tomenthypnum* sp., which often cause a yellowish appearance, and lichens *Cladonia* sp., *Cetraria* sp., and *Alectoria* sp. Moss and lichen cover up to 90%. Ericaceous species, common but scattered, include *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, *Empetrum nigrum*, and *Arctostaphylos alpina*. Prostrate shrubs are frequent but of low cover (<5%) and low height (<10 cm) and include *Dryas integrifolia*, *Betula glandulosa*, and *Salix arctophila*. Forbs are scattered and include *Arctagrostis latifolia*, *Carex vaginata*, *Hierochloe alpina*, *Luzula* sp., *Juncus* sp., *Oxytropis maydelliana*, *Silene acaulis*, *Pedicularis lapponica*, and *Pedicularis sudetica*. Small boulders or small patches of exposed sand or gravel are common. In many areas there are distinct circular patterns with dark *Alectoria* sp. lichens surrounded by yellowish growth of the grass *Hierochloe alpina*.



LICHEN-HEATH TUNDRA

Bands 4,5,2 Enhancement: Olive green to dark green.

Topographic Position: Uplands, including middle to upper slopes and crests of ridges and eskers, and other moderately drained to well-drained bouldery glacial deposits; thin veneer in depressions of boulder fields and bedrock outcrops.

Surficial Expression: Rough, uneven surface due to boulders, cobbles, and small outcrops of bedrock.

Substrate: Boulder fields and unconsolidated, frost-shattered bedrock; coarse gravels and sands.

Moisture Regime: Xeric, with localized mesic sites in depressions.

Vegetation: Total vegetation cover, excluding crustose lichens, which cover part of exposed boulders and bedrock outcrops, varies, but is generally >75%. Individual areas of exposed bedrock can have <10% plant cover, and depressions frequently support nearly continuous vegetation cover. Dominant vegetation is lichen, including *Alectoria ochroleuca*, *Cladina* sp., and *Cetraria* sp., which creates a greenish-grey appearance to this cover type. Mosses are also abundant, including *Rhacomitrium lanuginosum*, and, together with the dominant lichens, form up to 75% of the vegetation cover. The balance of the vegetation is composed of ericaceous species, such as *Ledum decumbens*, *Cassiope tetragona*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos alpina*, *Loiseleuria procumbens*, and *Empetrum nigrum*, occasional prostrate shrubs, such as *Dryas integrifolia* and *Betula glandulosa*, and scattered graminoids and forbs, such as *Hierochloe alpina*, *Calamagrostis lapponica*, *Oxytropis maydelliana*, *Silene acaulis*, *Potentilla nivea*, *Epilobium latifolium*, *Papaver radicatum*, *Luzula confusa*, and *Artemisia* sp. Much of the surface area of exposed boulders and rock outcrop is covered with a variety of species of crustose lichens.

BEDROCK AND BOULDER FIELD

Bands 4,5,2 Enhancement: Dark blue-green or brown-green; steep slopes of smooth, consolidated bedrock often appear as small, bright green patches.

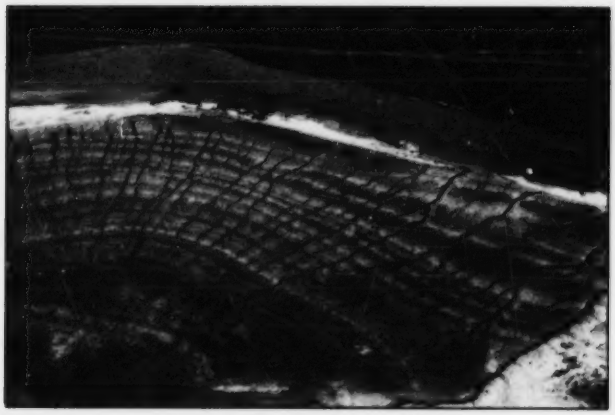
Topographic Position: Uplands, mainly consolidated bedrock outcrops of granitic rock and boulder fields.

Surficial Expression: Broken, frequent and abrupt changes in slope and aspect due to presence of frost-shattered bedrock and large angular boulders; small depressions with lichen-heath tundra, tussock graminoid tundra, or ponds are common.

Substrate: Consolidated bedrock or boulders.

Moisture Regime: Xeric; localized mesic sites in depressions.

Vegetation: Exposed bedrock and boulders form >75% of surface, in some areas >90%. These surfaces are subject to extremes of moisture and temperature, snow cover is often blown clear in winter, and they support a variety of species of lichens that can almost completely cover rock surfaces. Crustose lichens and some foliose lichens are dominant. Depressions and large crevices of bedrock often support thick layers of mosses, such as *Rhacomitrium* sp., and lichens, such as *Alectoria* sp. and *Cetraria* sp. Vascular vegetation can occur within these moss- and lichen-dominated areas, including the ericaceous shrubs *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, *Arctostaphylos alpina*, and *Loiseleuria procumbens*, the graminoids *Hierochloe alpina*, *Arctagrostis latifolia*, *Luzula confusa*, and *Poa alpigena*, the prostrate shrubs *Empetrum nigrum*, *Dryas integrifolia*, *Betula glandulosa*, and *Salix reticulata*, and the forbs *Pedicularis lapponica*, *Arnica louiseana*, *Potentialla rubricaulis*, *Saxifraga tricuspidata*, *Silene acaulis*, *Oxytropis maydelliana*, and *Papaver radicatum*. The fern *Dryopteris fragrans* occurs in crevices and other sheltered locations.



ACTIVE DEPOSITS

Bands 4,5,2 Enhancement: Light-coloured sediments of exposed lake beds, cut banks along rivers, alluvial sand and gravel deposits, or sandy blowouts are generally a bright white; reddish clays and silts are a mixture of light and medium purple; wet nearshore marine silts and clays are a uniform medium or light magenta.

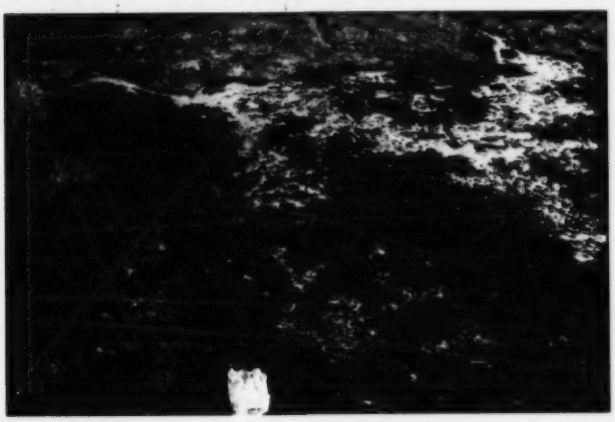
Topographic Position: Lowlands and uplands; exposed beds of larger lakes with past or ongoing drawdown, eroding banks of streams and rivers with exposed marine silts and clays, aggrading areas of rivers and streams, including gravel, sand, and silt islands and spits, mesic to hydric areas of deltaic deposits.

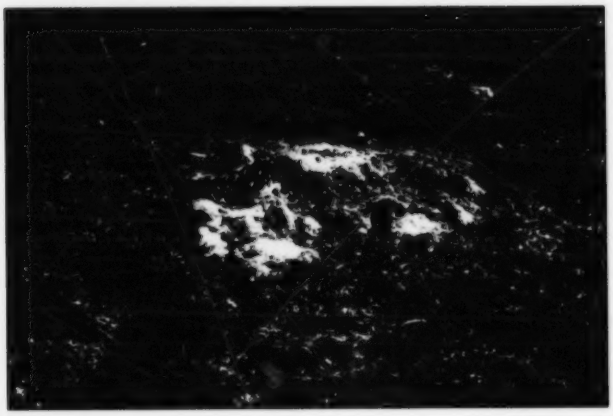
Surficial Expression: Variable, from very flat lake beds, alluvial deposits, and deltaic deposits to low to steep, highly dissected slopes of actively eroding marine silts along rivers and streams.

Substrate: Variable; includes marine clays and silts, alluvial and glacial gravels, sands and silts, and active eolian deposits.

Moisture Regime: Variable, from xeric to hygric.

Vegetation: Usually bare substrate with no vegetation cover due to effects of active erosion or aggradation. Lower reaches of rivers and streams near the coastline, with actively eroding banks of marine silts, may have growths of *Puccinellia phryganodes* and *Alopecurus alpinus*.





EXPOSED PEAT

Bands 4,5,2 Enhancement: Bluish-green; similar to but not as bright as moss-lichen tundra.

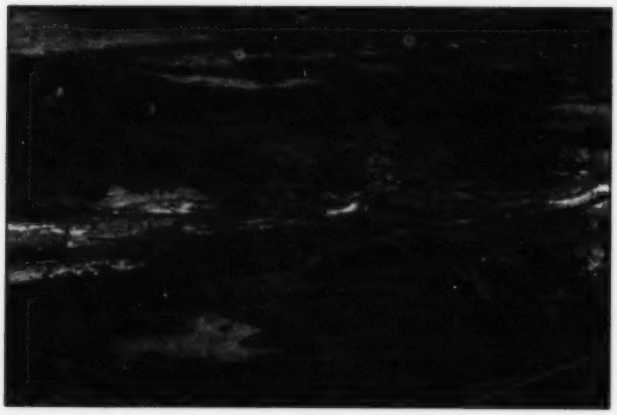
Topographic Position: Lowlands; wet sedge meadow, hummock graminoid tundra, and tussock graminoid tundra.

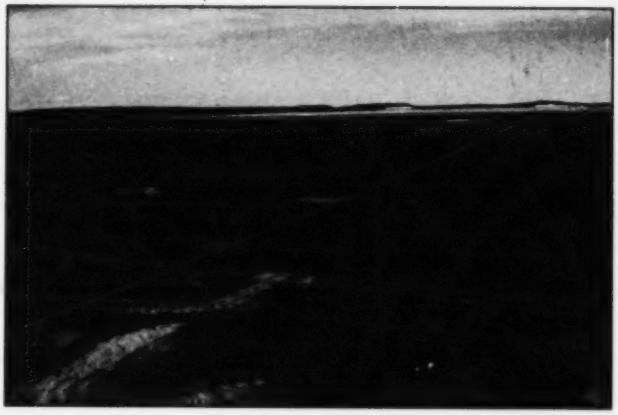
Surficial Expression: Level terrain of wet sedge meadows, and level to gently sloping terrain of hummock graminoid tundra and tussock graminoid tundra.

Substrate: Shallow peat composed primarily of *Carex* sp. and *Eriophorum* sp. material.

Moisture Regime: Hygric to mesic.

Vegetation: There are two situations where exposed peat occurs. Natural drawdown of surface water in wet sedge meadow communities, in response to past and current precipitation and evaporation, exposes the peat bottoms of shallow water areas. This peat is dark brown when saturated, and, when recently exposed, little vegetation is present except for scattered graminoids such as *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, or *Arctophila fulva*. In years with reduced winter snow cover and low precipitation, these areas can be found in patches within or along the periphery of wet sedge meadows. Peat is also exposed due to nest building and grazing activities of Snow Geese and Ross' Geese within and adjacent to their nesting colonies. In mesic areas of tussock graminoid tundra with high densities of nesting geese, the individual tussocks of *Eriophorum vaginatum* are shredded and used with many other vegetation species in the building of nest bowls by the geese. From arrival to hatch, the adult geese are in attendance at the nest site, where grazing on any edible vegetation is intense. Exposed peats are mesic and appear medium to dark brown.





COASTAL GRAMINOID TURF

Bands 4,5,2 Enhancement: Small orange patches on landward edge of light purple of exposed offshore silts and clay, primarily near mouths of rivers and streams. NOT MAPPED; LOCATION CAN BE PREDICTED BY TOPOGRAPHIC POSITION.

Topographic Position: Lowlands, immediate shoreline along the coastline in the vicinity of mouths of rivers and streams, inundated by high tides on a regular but not daily basis; rare small pockets along bedrock-controlled shorelines of coastline in small bays where small deposits of fine silts and clays occur.

Surficial Expression: Level ground with a mosaic of low, elevated turf islands, expanses of unvegetated silts, and shallow brackish to saline pools and channels.

Substrate: Marine silts and clays and deltaic sediments at the mouths of streams and rivers.

Moisture Regime: Hygric; moisture related to recent tidal action and onshore winds.

Vegetation: Outer islands of graminoid turf dominated by *Puccinellia phryganodes.* Inner islands of turf vegetated by *Puccinellia phryganodes*, *Carex subspathacea*, *Carex ursina*, and *Stellaria humifusa.*

Recent publications in the Occasional Papers series

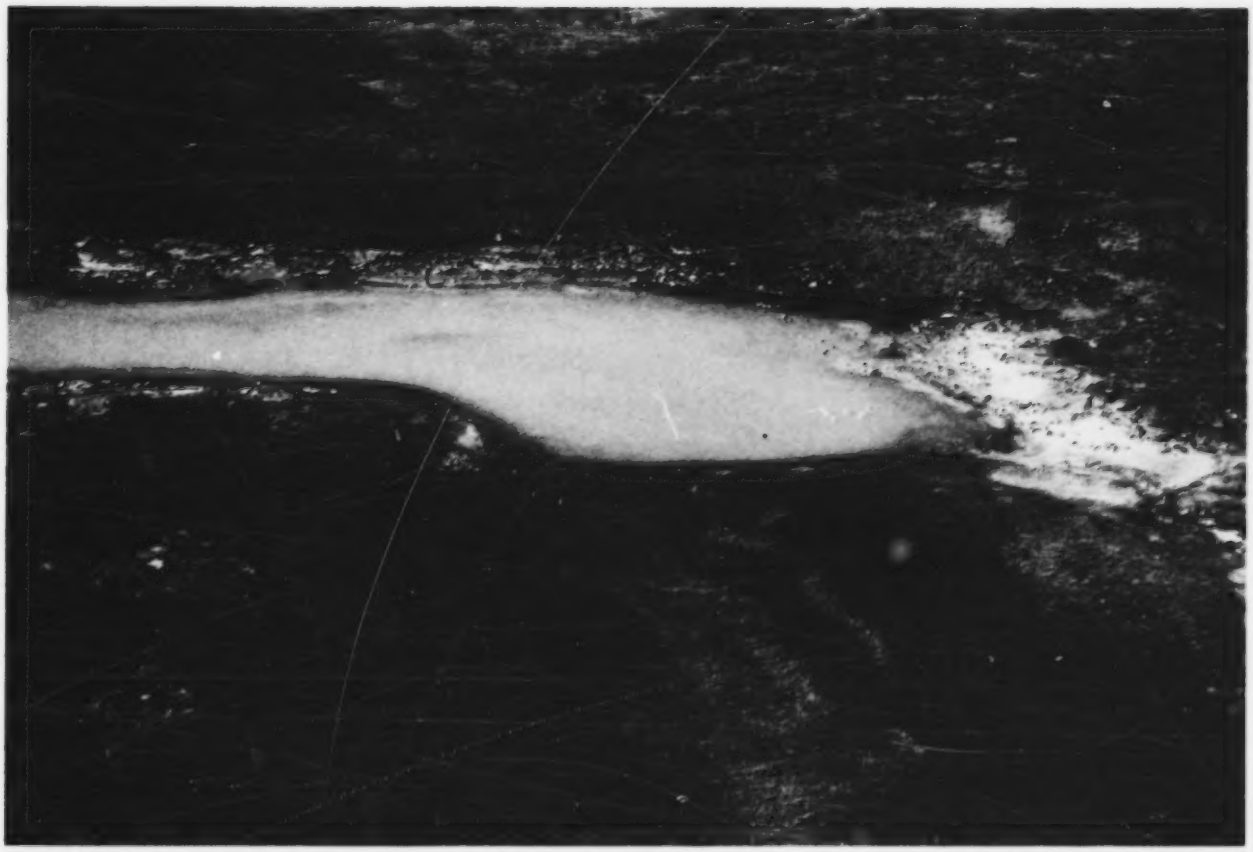
No. 87
Use of various habitat types by nesting ducks on islands in the St. Lawrence River between Montréal and Trois-Rivières, by Luc Bélanger and Denis Lehoux. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/87E. Publ. 1995.
No. 88
A review of the environmental impacts of lead shotshell ammunition and lead fishing weights in Canada, by A.M. Scheuhammer and S.L. Norris. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/88E. Publ. 1995.
No. 89
The colonial waterbirds of Great Slave Lake, Northwest Territories: an annotated atlas, by J. Sirois, M.A. Fournier, and M.F. Kay.
Cat. No. CW69-1/89E. Publ. 1995.
No. 90
Duck use of the coastal habitats of northeastern James Bay, by Austin Reed, Réjean Benoit, Richard Lalumière, and Michel Julien. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/90E. Publ. 1996.
No. 91
Studies of high-latitude seabirds. 4. Trophic relationships and energetics of endotherms in cold ocean systems, by W.A. Montevecchi, ed.
Cat. No. CW69-1/91E. Publ. 1996.
No. 92
Goose use of the coastal habitats of northeastern James Bay, by Austin Reed, Réjean Benoit, Michel Julien, and Richard Lalumière. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/92E. Publ. 1996.
No. 93
The ecology, status, and conservation of marine and shoreline birds of the Queen Charlotte Islands, by K. Vermeer and K.H. Morgan, eds.
Cat. No. CW69-1/93E. Publ. 1997.
No. 94
King and Common eiders of the western Canadian Arctic, by D. Lynne Dickson, ed.
Cat. No. CW69-1/94E. Publ. 1997.
No. 95
Monitoring bird populations: the Canadian experience, by Erica H. Dunn, Michael D. Cadman, and J. Bruce Falls, eds.
Cat. No. CW69-1/95E. Publ. 1997.
No. 96
Winter distributions of Thick-billed Murres from the eastern Canadian Arctic and western Greenland in relation to age and time of year, by G.M. Donaldson, A.J. Gaston, J.W. Chardine, K. Kampp, D.N. Nettleship, and R.D. Elliot.
Cat. No. CW69-1/96E. Publ. 1997.
No. 97
Shorebird migration and staging at a large prairie lake and wetland complex: the Quill Lakes, Saskatchewan, by Stuart A. Alexander and Cheri L. Gratto-Trevor.
Cat. No. CW69-1/97E. Publ. 1997.
No. 98
Distribution, survival, and numbers of Lesser Snow Geese of the Western Canadian Arctic and Wrangel Island, Russia, by Richard H. Kerbes, Katherine M. Meeres, and James E. Hines, eds.
Cat. No. CW69-1/98E. Publ. 1999.
No. 99
Breeding ecology of the Horned Grebe *Podiceps auritus* in subarctic wetlands, by Michael A. Fournier and James E. Hines.
Cat. No. CW69-1/99E. Publ. 1999.
No. 100
Behaviour and ecology of sea ducks, by R. Ian Goudie, Margaret R. Petersen, and Gregory J. Robertson, eds.
Cat. No. CW69-1/100E. Publ. 1999.
No. 101
Assessment of bird populations in the Rasmussen Lowlands, Nunavut, by Victoria H. Johnston, Cheri L. Gratto-Trevor, and Stephen T. Pepper.
Cat. No. CW69-1/101E. Publ. 2000.
No. 102
Population modelling and management of Snow Geese, by Hugh Boyd, ed. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/102E. Publ. 2000.
No. 103
Towards conservation of the diversity of Canada Geese (*Branta canadensis*), by Kathryn M. Dickson, ed.
Cat. No. CW69-1/103E. Publ. 2000.
No. 104
Estimates of shorebird populations in North America, by R.I.G. Morrison, R.E. Gill, Jr., B.A. Harrington, S. Skagen, G.W. Page, C.L. Gratto-Trevor, and S.M. Haig.
Cat. No. CW69-1/104E. Publ. 2001.
No. 105
Status and population trends of the Razorbill in eastern North America, by G. Chapdelaine, A.W. Diamond, R.D. Elliot, and G.J. Robertson.
Cat. No. CW69-1/105E. Publ. 2001.
No. 106
Studies of high-latitude seabirds. 5. Monitoring Thick-billed Murres in the eastern Canadian Arctic, 1976–2000, by A.J. Gaston.
Cat. No. CW69-1/106E. Publ. 2002.
No. 107
Changes in reported waterfowl hunting activity and kill in Canada and the United States, 1985–1998, by H. Boyd, H. Lévesque, and K.M Dickson. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/107E. Publ. 2002.
No. 108
Lead fishing sinkers and jigs in Canada: Review of their use patterns and toxic impacts on wildlife, by A.M. Scheuhammer, S.L. Money, D.A. Kirk, and G. Donaldson. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/108E. Publ. 2003.
No. 109
Key marine habitat sites for migratory birds in Nunavut and the Northwest Territories, by Mark L. Mallory and Alain J. Fontaine. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/109E. Publ. 2004.
No. 110
The 1995 Peregrine Falcon survey in Canada, by Ursula Banasch and Geoff Holroyd, eds. Disponible également en français.
Cat. No. CW69-1/110E. Publ. 2004.

This document is printed on
EcoLogo® certified paper.

Andrew B. Didiuk
Robert S. Ferguson

Carte de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

Publication hors série
Numéro 111
Service canadien de la faune



Canada

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

Service canadien de la faune
Publications hors série

Les Publications hors série font état des résultats de recherches originales effectuées par les membres du personnel du Service canadien de la faune ou appuyées par le Service. Ces publications ont fait l'objet d'un examen par des pairs.

Conseil de rédaction

C.D. Ankney
University of Western Ontario

David Cairns
Pêches et Océans Canada

Fred Cooke
Simon Fraser University

A.W. Diamond
Université du Nouveau-Brunswick

Charles J. Henny
U.S. Geological Survey

Raymond McNeill
Université de Montréal

Ross J. Norstrom
Service canadien de la faune

Austin Reed
Service canadien de la faune

Harold Welch
Northwater Consultants

Rédactrices administratives

Erica H. Dunn
Service canadien de la faune

Michèle Poirier
Service canadien de la faune

Le Service canadien de la faune

Le Service canadien de la faune d'Environnement Canada est chargé des questions de compétence fédérale touchant les espèces sauvages, notamment la protection et la gestion des oiseaux migrateurs et des habitats canadiens d'importance nationale. Il est aussi responsable des espèces en péril, de la réglementation du commerce international des espèces en péril et de la recherche sur les préoccupations d'importance nationale que soulèvent les espèces sauvages. Il collabore avec les provinces, les territoires, l'Agence Parcs Canada et d'autres organismes fédéraux en matière de recherche et de gestion concernant les espèces sauvages.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur le Service canadien de la faune ou ses publications, pour nous aviser d'un changement d'adresse ou pour nous demander d'être supprimé de la liste d'envoi, communiquer avec :

Publications
Service canadien de la faune
Environnement Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0H3
(819) 997-1095
(819) 997-2756 (télécopieur)
cws-scf@ec.gc.ca
http://www.scf-cws.ec.gc.ca

Andrew B. Didiuk[1]
Robert S. Ferguson[2]

Carte de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

Publication hors série
Numéro 111
Service canadien de la faune
Mars 2005

Also available in English under the title
Land cover mapping of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut
Canadian Wildlife Service, Occasional Paper No. 111

[1] Service canadien de la faune, 115, chemin Perimeter, Saskatoon (Saskatchewan) S7N 0X4
[2] Service canadien de la faune, 5204–50th Avenue, bureau 301, Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) X1A 1E2
(Adresse actuelle : MATRIX Resource Services, C.P. 1133, Golden [Colombie-Britannique] V0A 1H0)

Un membre de la famille Conservation de l'environnement

Toutes les photos ont été prises par Andrew Didiuk (Service canadien de la faune).
Photo de la couverture : Vue aérienne de l'habitat près de la rivière Perry, Nunavut.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, répresentée par le ministre de l'Environnement, 2005. Tous droits réservés.
N° de catalogue CW69-1/111F
ISBN 0-662-79323-4
ISSN 0701-7944

En ligne à l'adresse http://www.cws-scf.ec.gc.ca

HTML
N° de cat. CW69-1/111F-HTML
ISBN 0-662-79325-0

PDF
N° de cat. CW69-1/111F-PDF
ISBN 0-662-79324-2

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Didiuk, Andrew B.

Carte de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

(Publication hors-série, ISSN 0701-7944 ; no. 111)
Publ. aussi en anglais sous le titre : Land cover mapping of Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary, Nunavut.
Comprend des références bibliographiques.
Accompagné d'un cédérom.
Disponible également sur l'Internet.
ISBN 0-662-79323-4 No de cat. CW69-1/111F

1. Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud (Nunavut) – Cartes.
2. Réserves ornithologiques – Queen Maud, Région du Golfe de la (Nunavut).
3. Gibier d'eau – Habitat – Nunavut – Queen Maud, Région du Golfe de la – Cartes.
4. Faune – Aménagement – Nunavut – Queen Maud, Région du Golfe de la.
I. LANDSAT (Satellites de télédétection).
II. Ferguson, Robert S.
III. Titre.
IV. Coll. : Publication hors-série (Service canadien de la faune) ; no. 111.

QL676.56Q46 2005 333.95'828 C2005-980077-1

Résumé

Le Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, au Nunavut, dans le centre de l'Arctique canadien, est une aire de reproduction importante pour diverses espèces de sauvagine et d'autres espèces sauvages. Aucune évaluation du type et de la superficie des couvertures terrestres de ce refuge n'a été axée en particulier sur la capacité de charge des habitats des espèces sauvages, d'où l'impossibilité de procéder à une évaluation environnementale adéquate des modifications proposées des limites de ce refuge. Cette lacune a également entravé les efforts déployés pour évaluer les tendances démographiques et la répartition des espèces sauvages à l'intérieur du refuge.

Les images de l'appareil de cartographie thématique (ACT) du LANDSAT et le traitement numérique des images ont servi à la préparation d'une carte de la couverture terrestre de cette vaste région éloignée. Les données provenant d'un examen de diverses améliorations possibles des images, trois campagnes d'inspection aérienne et sur le terrain des types de couverture terrestre, et la classification des images ont permis de produire une carte thématique des types de couverture terrestre. On a évalué la précision de la classification pour établir la fiabilité de cette carte.

Treize types de couverture terrestre, dont trois classes de turbidité des masses d'eau, ont été répertoriés et cartographiés. L'amélioration des images à l'aide d'un étalement suivant une loi de puissance des contrastes des bandes 4 et 5 et d'un étalement linéaire de la bande 2 s'est révélée une excellente façon d'interpréter visuellement les types de couverture terrestre et a servi à produire des tracés cartographiques en couleur aux fins des inspections sur le terrain. Au cours des trois campagnes d'inspection, 75 visites détaillées sur le terrain et 2 606 inspections aériennes à basse altitude de sites terrestres ont été effectuées.

Dans l'ensemble, la précision de la classification de la turbidité des masses d'eau atteint 84 p. 100, et il n'y a pas de confusion entre les lacs dont l'eau est claire et ceux dont l'eau est trouble. Dans le cas des types de couverture terrestre, cette proportion atteint 89 p. 100; quant aux types individuels de couverture terrestre, la précision estimative est supérieure à 80 p. 100 la plupart du temps.

La carte de la couverture terrestre, utilisée de concert avec des données sur les espèces sauvages et l'opinion des professionnels, permettra d'évaluer efficacement les modifications proposées des limites du refuge. Elle offrira aussi une base pour concevoir et évaluer efficacement les relevés actuels et futurs afin de surveiller les populations d'espèces sauvages dans le refuge. La cartographie de la couverture terrestre d'autres refuges d'oiseaux migrateurs, effectuée de façon similaire au moyen de l'analyse de l'imagerie-satellite, pourrait s'avérer une manière efficace d'évaluer les habitats fauniques de ces autres importantes régions.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier spécialement K. McCormick, du Service canadien de la faune, et G. Stenhouse, de Canards Illimités Canada, pour leur encouragement et leur soutien financier pendant toutes les étapes du projet. Des fonds ont également été fournis par R. Alisauskas au début du projet. Les auteurs expriment leur reconnaissance à M. Gillespie, du ministère des Ressources naturelles du Manitoba, pour l'aide qu'il leur a apportée et pour la camaraderie dont il a fait preuve sur le terrain. Les auteurs ont aussi bénéficié de l'aide et des talents hors pair des pilotes J. Faulkner et K. Mitchner, de Sunrise Helicopters.

Les auteurs remercient G. Adams, R. Alisauskas, J. Hines, V. Johnston, R. Kerbes, K. McCormick et C. Taylor, dont ils ont apprécié les analyses et les observations au sujet du manuscrit.

D. Busch, R. Dixon, G. Lux et H. Pokrant, du Centre manitobain de télédétection, J. Polson et P. McTavish, du Saskatchewan Research Council, ainsi que C. Taylor et H. Epp, du Northwest Territories Centre for Remote Sensing, ont participé au traitement des images numériques.

Les cartes numériques ont été produites avec le concours de G. Babish, Service canadien de la faune, Regina.

J. Hudson, du W.P. Fraser Herbarium, University of Saskatchewan, Saskatoon, a identifié les espèces de plantes prélevées au cours des travaux des auteurs sur le terrain. La mesure de la turbidité des échantillons d'eau a été effectuée à l'Institut national de recherche en hydrologie, Environnement Canada, Saskatoon.

Le projet a reçu l'appui du Service canadien de la faune, de Canards Illimités Canada, et du Projet conjoint sur les oies de l'Arctique réalisé par Environnement Canada.

La présente publication a été produite par la Division des documents scientifiques et techniques du Service canadien de la faune, avec l'aide des personnes suivantes : Pat Logan, Susan Burns et Elizabeth Morton – coordination; Marla Sheffer et Raymonde Lanthier (réviseures contractuelles) – révision scientifique; Sylvie Larose et Linda Bartlett – mise en pages; Mark Hickson – impression.

Table des matières

1. Introduction 7

2. Méthodes 9
- 2.1 Données sur les images 9
- 2.2 Améliorations des images 9
- 2.3 Études sur le terrain 9
- 2.4 Classification de l'eau et de la glace 10
- 2.5 Classification des types de couverture terrestre 10
- 2.6 Géoréférencement et combinaison des images 10
- 2.7 Évaluation de la précision 11

3. Résultats et analyse 12
- 3.1 Types de couverture terrestre 12
- 3.2 Interprétation visuelle des améliorations 13
- 3.3 Classification de la couverture terrestre 14
- 3.4 Précision de la classification 14
  - 3.4.1 Eau 14
  - 3.4.2 Portions terrestres 15

4. Possibilités de gestion et de recherche 17

5. Recommandations 19

Ouvrages cités 20

Annexes 21

Liste des figures

Figure 1. Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 8

Figure 2. Illustration des limites nettes entre deux types de couverture terrestre adjacents, soit un affleurement rocheux et un petit lac 13

Figure 3. Exemple d'une amélioration d'image à l'aide d'un étalement suivant une loi de puissance des contrastes pour les bandes 4 et 5 et d'un étalement linéaire pour la bande 2, en rouge, en vert et en bleu, respectivement 13

Figure 4. Zones du type tourbe exposée dans les environs des colonies de nidification de l'Oie de Ross et de l'Oie des neiges au lac Karrak, dans le Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 17

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de visites détaillées sur le terrain et d'inspections aériennes des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 9

Tableau 2. Mesures de la turbidité et au disque de Secchi des lacs du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut (moyenne et plage des valeurs) 14

Tableau 3. Précision de la classification, des points de vue producteur et utilisateur, des masses d'eau du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 15

Tableau 4. Précision de la classification, des point de vue producteur et utilisateur, des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 15

Tableau 5. Répartition des classifications des pixels dans les échantillons de types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 16

Tableau 6. Superficie des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 17

Cartes numériques

Le cédérom d'accompagnement comprend des cartes numériques de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, et ce, dans divers formats. Prière de consulter le fichier « Lisez-moi » du cédérom pour obtenir tous les détails.

Liste des annexes

Annexe 1. Dates, trajectoires et clichés identifiant les images de l'ACT du LANDSAT utilisées pour la classification de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 21

Annexe 2. Types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut 21

1. Introduction

Le Refuge d'oiseaux migrateurs (ROM) du golfe Reine-Maud a été créé en 1961. Il s'étend sur 63 655 km² dans le centre de l'Arctique canadien et constitue le plus grand refuge d'oiseaux du pays (figure 1). Depuis la découverte des sites de nidification de l'Oie de Ross (*Chen rossii*) près de la rivière Perry en 1938 (Gavin, 1947), le ROM a fréquemment été l'objet d'études biologiques. Les premiers travaux ont été centrés sur l'établissement d'un inventaire des ressources physiques et biologiques des environs de la rivière Perry (Hanson *et al.*, 1956) et sur la recherche concernant la biologie de la nidification et la répartition des Oies de Ross (Ryder, 1967, 1969, 1972). Au cours des années 1960, Ryder (1971) a aussi recueilli de l'information sur la répartition et la biologie de la reproduction de l'Oie des neiges (*Chen caerulescens*) dans le ROM.

Depuis ces premières études, on a assisté à une accélération de la recherche et de la surveillance visant les populations d'oies et de bernaches dans le ROM. Les colonies de nidification de l'Oie de Ross et de l'Oie des neiges, dont les effectifs ont augmenté rapidement, font l'objet d'inventaires photographiques par intervalles (Kerbes *et al.*, 1983; Kerbes, 1994). On continue de mener diverses recherches sur l'écologie de la nidification et des nichées dans le ROM (McLandress, 1983; Slattery, 1994). Les études récentes ont porté sur l'estimation des populations d'Oies de Ross, d'Oies des neiges et d'Oies rieuses (*Anser albifrons*), de même que de plusieurs populations de Bernaches de Hutchins (*Branta hutchinsii*) au moyen de relevés aériens (R. Alisauskas, comm. pers.) et de programmes de marquage permettant d'évaluer les répartitions automnale et hivernale, le rattachement des populations, la survie annuelle et la taille des effectifs (R. Kerbes, comm. pers.). Ces initiatives ont été parrainées en partie par le Projet conjoint sur les oies de l'Arctique, mis sur pied aux termes du Plan nord-américain de gestion de la sauvagine.

On trouve beaucoup d'autres espèces fauniques dans le ROM, dont certaines sur une base saisonnière. Ainsi, un grand nombre de bœufs musqués (*Ovibos moschatus*) fréquentent les plaines alluviales du ROM, tandis que certains caribous de la toundra (*Rangifer tarandus groenlandicus*) de la harde Bathurst sont présents dans la portion orientale du ROM pendant la mise bas et au cours de l'été (Heard, 1989). Parmi les espèces qui se reproduisent dans le ROM, on compte le grizzli (*Ursus arctos*), la Grue du Canada (*Grus canadensis*), le Cygne siffleur (*Cygnus columbianus*) et diverses espèces de sauvagine.

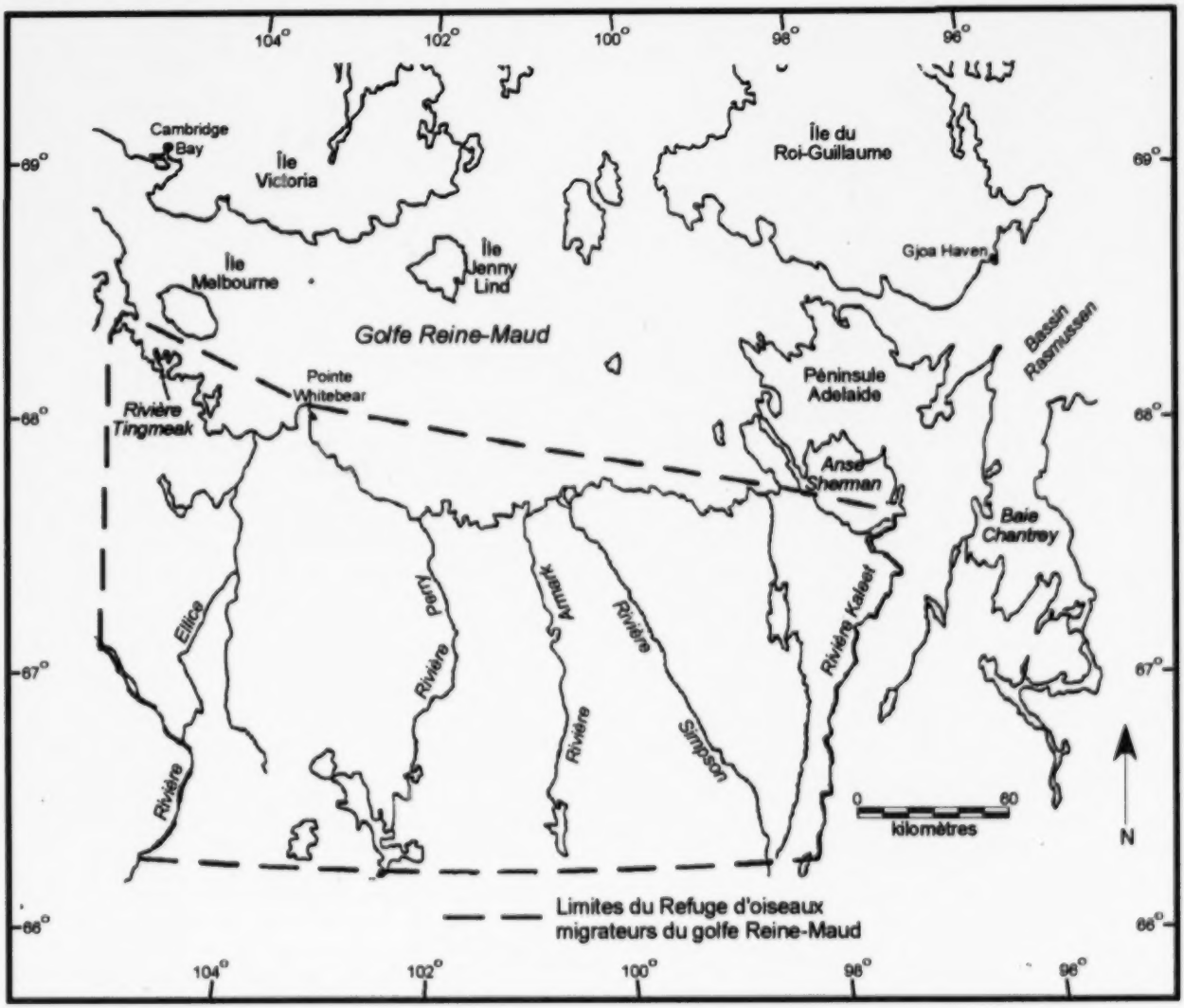
En 1990, le Comité consultatif de la conservation sur la Politique minière pour le Nord a examiné les limites des ROM situés dans les Territoires du Nord-Ouest, au nord du 60e parallèle (Comité consultatif de la conservation, 1990). Ce comité a proposé de réduire la superficie du ROM du golfe Reine-Maud à environ 54 000 km², mais n'a fait aucune recommandation quant à l'endroit où cette réduction devait avoir lieu. La recommandation du Comité a été mise de l'avant à la condition que toute modification que l'on proposerait d'apporter aux limites du ROM s'appuie sur une évaluation exhaustive sur le terrain des habitats d'oiseaux migrateurs du ROM.

L'examen du Comité a montré que l'information actuelle n'était pas suffisante pour prendre des décisions quant aux modifications à apporter aux limites du ROM. Même si les relevés et les activités de surveillance entrepris récemment ont permis de mieux connaître la répartition de certaines espèces de sauvagine, une grande partie de l'information recueillie reste axée sur les colonies de nidification connues de l'Oie de Ross et de l'Oie des neiges. On dispose de peu de renseignements concernant les habitats fauniques du ROM et l'on ne sait rien de la répartition des habitats ayant une importance pour la sauvagine et d'autres espèces sauvages.

L'établissement d'une carte de la couverture terrestre applicable à l'évaluation de la potentialité des terres en regard des habitats fauniques facilitera le déroulement de divers inventaires et programmes de recherche actuels et futurs sur la faune. Les données d'inventaire des habitats serviront à repérer et à cartographier des zones spécifiques, à l'intérieur du ROM, qui revêtent une importance particulière pour la sauvagine et pour d'autres espèces; elles compléteront aussi les études écologiques à long terme sur les oies et bernaches et d'autres espèces fauniques. Les cartes des habitats permettront d'améliorer considérablement les futurs relevés aériens de la faune du fait qu'elles se prêteront à la stratification des travaux de relevés. L'intégration de ces cartes, dérivées de l'imagerie-satellite, à d'autres données sur la faune dans un système d'information géographique (SIG) peut améliorer l'évaluation des relations entre les habitats, la présence d'espèces fauniques et leur utilisation de ces habitats (Butler *et al.*, 1995).

La très vaste étendue et l'éloignement du ROM présentent un défi pour ceux qui envisagent l'établissement d'une carte des habitats, et il a fallu utiliser la technologie de la télédétection pour surmonter ces obstacles. On assiste à

Figure 1
Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut



une utilisation de plus en plus grande de diverses sources d'imagerie-satellite et de techniques de traitement dans la cartographie du terrain et des habitats fauniques des régions septentrionales (Thompson *et al.*, 1980; Harvie *et al.*, 1982; Shasby et Carneggie, 1986; Petersen, 1987; Dickson *et al.*, 1989; Wakelyn, 1990; Ferguson, 1991; Markon et Derksen, 1994). L'imagerie de l'appareil de cartographie thématique (ACT) du LANDSAT a été choisie aux fins de l'établissement d'une carte thématique numérique du ROM. La résolution au sol de ce capteur convenait à la cartographie à grande échelle, et la sensibilité spectrale élevée du capteur s'avérait utile pour détecter les différences d'humidité du sol et de la végétation. Cette imagerie, une fois référencée suivant une projection cartographique, peut être intégrée dans d'autres bases de données et cartes numériques.

Le but principal du projet était de dresser un inventaire à grande échelle des types de couverture terrestre dans le ROM du golfe Reine-Maud, axé particulièrement sur les types de couverture terrestre susceptibles d'être importants en tant qu'habitat de la sauvagine. Les objectifs du projet étaient les suivants :

- élaborer un système de classification des types de couverture terrestre;
- produire une carte thématique (carte de classification) du ROM illustrant la répartition des types de couverture;
- décrire les caractéristiques physiques et biologiques de chacun des types de couverture;
- fournir un résumé sous forme de tableau de l'étendue géographique de chacun des types de couverture à l'intérieur du ROM.

On utilisera les produits dérivés de ce projet pour préparer des recommandations sur toute modification proposée des limites du ROM à la suite de l'intégration des données sur les populations de sauvagine et d'autres espèces fauniques.

2. Méthodes

2.1 Données sur les images

En raison de nébulosités et de brouillards fréquents le long de la côte du golfe Reine-Maud, peu d'images LANDSAT étaient disponibles pour le traitement. Au total, quatre scènes complètes et trois quadrats étaient nécessaires pour une couverture complète sans nuages du ROM. Les dates des images allaient de la mi-juillet au début d'août, de 1986 à 1992. L'annexe 1 fournit de plus amples renseignements au sujet de ces dates et de ces images. Le traitement des images a été réalisé à l'aide de systèmes ARIES III (Applied Resource Image Exploitation System; DIPIX, 1987) au Centre manitobain de télédétection à Winnipeg (Manitoba), ainsi qu'au Saskatchewan Research Council à Saskatoon (Saskatchewan).

2.2 Améliorations des images

Diverses améliorations des images ont été générées, notamment des étalements linéaires ou suivant une loi de puissance des contrastes, des égalisations d'histogrammes et des transformations des composantes principales (Short, 1982; Showengerdt, 1983; DIPIX, 1987). Une image en couleur composée des bandes spectrales en proche infrarouge (bande 4), en infrarouge ondes courtes (bande 5) et verte (bande 2), affichées respectivement en rouge, en vert et en bleu, permettait une excellente différenciation des types de couverture dans les basses terres et dans les hautes terres. L'interprétation a été facilitée davantage par l'application d'un étalement des contrastes suivant une loi de puissance aux bandes 4 et 5 (puissance = 2,0) et un étalement linéaire à la bande 2.

Cette image composée a été utilisée pour créer des tracés cartographiques en couleur. Toutes les images ont été cartographiées à l'échelle de 1/250 000, puis ces tracés ont servi à sélectionner, à l'intérieur des images, 11 sous-zones variant de 2 250 à 4 200 km², qui paraissaient contenir la gamme complète des valeurs spectrales (et, probablement, les types de couverture terrestre) des images. Des tracés cartographiques en couleur à l'échelle de 1/50 000 ont été dressés pour ces 11 sous-zones et utilisés sur le terrain afin de sélectionner et de déterminer les types de couverture.

2.3 Études sur le terrain

Des travaux sur le terrain assistés par hélicoptère ont été menés du 10 au 17 juillet 1991, du 7 au 20 juillet 1992 et du 5 au 14 juillet 1993 afin de déterminer les types de couverture terrestre associés aux zones homogènes des tracés cartographiques de couleur à l'échelle de 1/50 000. En 1991, une reconnaissance de l'ensemble du ROM et des vérifications détaillées au sol à des endroits choisis ont permis de déterminer 13 types de couverture terrestre (y compris trois types de turbidité de l'eau). Ces types de couverture présentaient des caractéristiques propres, avaient de l'importance pour les évaluations des habitats fauniques et convenaient à la classification avec un minimum de confusion. L'information tirée de cette reconnaissance et des vérifications détaillées au sol a servi aux classifications préliminaires des images. En 1992 et en 1993, des inspections supplémentaires de sites choisis, principalement des inspections aériennes à basse altitude, ont été effectuées dans l'ensemble du ROM et ont servi aux classifications finales des images. Au cours des trois campagnes sur le terrain, on a effectué 75 visites détaillées sur le terrain et 2 606 inspections aériennes à basse altitude des sites de couverture terrestre (tableau 1).

Tableau 1
Nombre de visites détaillées sur le terrain et d'inspections aériennes des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

Type de couverture	Visite sur le terrain	Inspection aérienne
Eau		
Claire	5	287
Modérément trouble	5	279
Trouble	5	271
Cariçaie humide	8	454
Toundra hummockée à graminoïdes	9	116
Toundra à buttes de graminoïdes	10	151
Toundra de petits arbustes	11	190
Fourrés	3	60
Toundra à mousses et lichens	5	78
Toundra à lichens et éricacées	3	383
Socle rocheux et champ de blocs	3	162
Dépôts actifs	1	53
Tourbe exposée	2	42
Couverture de graminoïdes du littoral	5	80
Total	75	2 606

Pendant les vérifications détaillées au sol, on a enregistré l'information suivante en marchant le long de transects linéaires traversant des zones représentatives : formes de terrain (hautes terres – socle rocheux, esker, crête, coteau, terrasse; basses terres – dépression, littoral, milieux humides); topographie (plane, vallonnée, hummockée, accidentée/érodée, en pente); microtopographie (hummocks, polygones, triage, stries); substrat (socle rocheux, blocs rocheux, gravier, till, argile/limon, tourbe); humidité superficielle (xérique, mésoïque, hygrique, hydrique); type et étendue de la végétation. Les descriptions de la végétation comprenaient la forme de croissance dominante (lichens, mousses, herbes non graminéennes non ligneuses, herbages graminés/carex, arbustes ligneux, herbes non graminéennes ligneuses), pourcentage de couverture végétale (estimation visuelle), hauteur moyenne et composition taxinomique. Le pourcentage de couverture des lichens et des mousses a été relevé pour chacun des sites, mais les espèces n'ont pas été identifiées.

Au cours des inspections aériennes d'un site sélectionné, un premier observateur délimitait une zone homogène sur la carte en couleur à l'échelle de 1/50 000. L'hélicoptère approchait, se maintenait en vol stationnaire à moins de 25 m du sol et, dans de nombreux cas, se posait brièvement à l'intérieur de la zone. Les deux observateurs convenaient d'un type de couverture terrestre. Une approche près du sol était nécessaire pour évaluer adéquatement la couverture arbustive.

On a tiré des photographies en couleur au sol et du haut des airs pendant toutes les inspections sur le terrain et un grand nombre d'inspections aériennes. Des échantillons de végétation ont été recueillis et identifiés par J. Hudson à l'aide de matériel de référence au W.P. Fraser Herbarium, University of Saskatchewan, Saskatoon. La nomenclature des plantes vasculaires se fonde principalement sur Porsild et Cody (1980).

La turbidité de l'eau des lacs, des étangs et des cours d'eau a été observée du haut des airs et une catégorie de turbidité (claire, modérément trouble ou trouble) a été attribuée à chaque échantillon. On a procédé à des mesures des solides en suspension (mg/L) et au disque Secchi (m) dans cinq lacs pour chacune des trois catégories de turbidité afin de faciliter la sélection de signatures spectrales pour la classification.

2.4 Classification de l'eau et de la glace

La classification des images numériques pour les trois types de turbidité de l'eau a été réalisée au moyen de la classification non dirigée, qui se fonde sur la variabilité spectrale propre d'une scène pour la détermination des « regroupements naturels » fondés sur la réflectance spectrale de l'image multispectrale. Les pixels de la scène comportant des caractéristiques spectrales similaires ont été attribués à l'un de ces regroupements. Cette technique s'est avérée efficace pour déterminer les classes spectrales de la large gamme de valeurs spectrales associées à l'eau des lacs et des cours d'eau, ainsi qu'à la couverture de glace au large des côtes.

Des signatures spectrales ont été tirées des classifications non dirigées de chacune des images pour une gamme de conditions de turbidité de l'eau. Celles-ci ont été groupées en trois classes de turbidité de l'eau — eau claire, eau modérément trouble et eau trouble — à l'aide de données de référence obtenues lors d'inspections aériennes d'un grand nombre de lacs et de cours d'eau. Les signatures des classes d'eau ont été utilisées dans la classification finale des images pour chacune des scènes.

Des signatures spectrales ont aussi été tirées des classifications non dirigées de chaque image pour la vaste gamme de conditions de glace tant des lacs et cours d'eau intérieurs qu'au large des côtes. Des signatures spectrales pour ces types de couverture de glace ont été groupées afin de classer les glaces comme un seul type de couverture de glace, et on les a utilisées dans la classification finale des images pour chacune des scènes. Des zones particulières de glace ont été attribuées manuellement à la classe de turbidité de l'eau visible dans les eaux libres entre les glaces et les côtes adjacentes. Ainsi, on a catégorisé les glaces au large du golfe Reine-Maud dans la classe de l'eau modérément trouble.

2.5 Classification des types de couverture terrestre

On a utilisé une classification dirigée pour classer les 10 types de couverture terrestre. Cette méthode consistait à attribuer des pixels de l'image à des classes particulières en comparant les valeurs de réflectance pour chacun des pixels avec les valeurs de réflectance des « zones-échantillons » (zones où le type de couverture terrestre est connu grâce aux observations sur le terrain). Le nombre de zones-échantillons pour chacune des classes allait de 20 à 100, alors que le nombre de pixels à l'intérieur de chacune des zones-échantillons variait de 12 à 1 111. On a délimité les zones-échantillons sur les cartes en couleur à l'échelle de 1/50 000 en vue des inspections sur le terrain et on a pris soin d'omettre les parcelles d'autres types de couverture terrestre lorsqu'ils étaient visibles. D'autres modifications des zones-échantillons ont été effectuées lors de la délimitation numérique de ces zones. On a appliqué un filtre à 20 p. 100 (élimination de 10 p. 100 des valeurs aberrantes à chaque extrémité de la distribution de la réflectance) afin d'obtenir les fichiers finals de signature pour chaque type de couverture terrestre en vue de la classification finale des images pour chaque scène.

2.6 Géoréférencement et combinaison des images

On a transformé les images de façon numérique pour qu'elles soient conformes à la projection cartographique Universelle transverse de Mercator (UTM). On a appliqué une fonction de lissage à la classification pour supprimer les zones dont la taille était de un ou de deux pixels, ce qui a permis de réduire au minimum l'effet « moucheté » causé par ces petites zones et d'éliminer certaines petites zones dont le classement était probablement erroné en raison du processus de moyennage des pixels. Ce lissage n'était pas appliqué aux types de couverture constitués de masses d'eau, de dépôts actifs ou de tourbe exposée. On a créé une mosaïque en sélectionnant des parties d'images de façon à constituer une image sans nuages de l'ensemble du ROM. Deux cartes thématiques ont été dressées, l'une dans la zone 13 de la projection UTM (partie du ROM à l'ouest de 102° de longitude) et l'autre dans la zone 14 de la projection UTM (partie du ROM à l'est de 102° de longitude). On a calculé la superficie totale du ROM occupée par chaque type de couverture

terrestre en faisant le total des pixels attribués à chacun des 13 types de couverture terrestre.

2.7 Évaluation de la précision

L'évaluation de la précision de la classification est conforme aux méthodes décrites dans Story et Congalton (1986). Un nombre total de 621 échantillons indépendants des 10 types de couverture terrestre et de 721 échantillons indépendants des trois catégories de turbidité de l'eau ont été évalués afin de déterminer si chacun des types de couverture terrestre était bien classifié. Il était impossible d'effectuer une classification exacte fondée sur des pixels individuels en raison des difficultés associées à la détermination de la position précise des pixels individuels au sol.

3. Résultats et analyse

3.1 Types de couverture terrestre

Trois types de couverture aqueuse, fondés sur la turbidité des masses d'eau, et dix types de couverture terrestre ont été établis et utilisés pour la classification de l'imagerie-satellite et la création de la carte de la couverture terrestre du ROM :

- Masses d'eau :
  - *Eau – claire :* Eau claire, habituellement dans des bassins lithodépendants; entités submergées visibles, sauf en profondeur; solides en suspension : 4,5 mg/L en moyenne; transparence : 2,8 m en moyenne, mesurée au disque de Secchi.
  - *Eau – modérément trouble :* Eau quelque peu foncée, de teinte aigue-marine à l'occasion; substrat et objets submergés visibles à une faible profondeur seulement; habituellement dans certains bassins non litho-dépendants; le plus souvent en périphérie des régions de socle rocheux; solides en suspension : 15,8 mg/L en moyenne; transparence : 0,9 m en moyenne, mesurée au disque de Secchi.
  - *Eau – trouble :* Eau très foncée, prenant souvent l'aspect du « chocolat au lait »; substrat et objets submergés invisibles; habituellement dans les zones alluviales où le socle rocheux est peu étendu; solides en suspension : 323 mg/L en moyenne; transparence : 0,2 m en moyenne, mesurée au disque de Secchi.

- Basses terres :
  - *Cariçaie humide :* Dépressions, en aval des couches de neige, littoral de portions de certains versants et lacs; mosaïque d'eau claire calme ou à faible circulation et de graminoïdes; espèces dominantes : *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium* et *Dupontia fisheri*.
  - *Toundra hummockée à graminoïdes :* Plaines plates à légèrement inclinées, le plus souvent adjacentes aux littoraux des versants et des lacs; hummocks de forme irrégulière comportant des creux intercalaires et prenant du haut des airs l'aspect distinct d'« oreillers »; espèces dominantes : *Carex aquatilis* (*stans*), *Festuca brachyphylla* et *Arctagrostis latifolia*; couverture d'arbustes déprimés habituellement inférieure à 10 p. 100.
  - *Toundra à buttes de graminoïdes :* Plaines plates à légèrement inclinées, souvent au-delà de la toundra hummockée à graminoïdes, adjacentes aux versants et aux lacs; souvent présente sous forme de petites parcelles dans les dépressions des faîtes des crêtes des hautes terres; buttes prenant du haut des airs un aspect « caillouteux » distinct; espèce dominante : *Eriophorum vaginatum*; couverture d'arbustes déprimés habituellement inférieure à 25 p. 100.
  - *Toundra de petits arbustes :* Observée le plus souvent le long des versants; mélange de buttes d'*Eriophorum vaginatum*, de hummocks et d'arbustes déprimés ou dressés; espèces dominantes : *Eriophorum vaginatum*, *Betula glandulosa* et *Salix planifolia*; couverture arbustive variant de 25 p. 100 à 75 p. 100.
  - *Fourrés :* Ce type abonde surtout le long des littoraux immédiats des versants et des lacs et dans les dépressions protégées longeant les pentes des vallées; espèces semblables à celles que l'on trouve dans la toundra de petits arbustes, sauf que les petits arbustes forment la couverture végétale dominante, soit de 75 p. 100 à 100 p. 100 de celle-ci.

- Hautes terres :
  - *Toundra à mousses et lichens :* Dépôts de sable et de sable/gravier sur les pentes inférieures et certains faîtes d'eskers et de crêtes, les terrasses et les principaux versants; couverture étendue de mousse et de lichen, parcelles d'éricacées, petits blocs rocheux dispersés et zones de gravier ou de sable exposé.
  - *Toundra à lichens et éricacées :* Observée de la mi-pente jusqu'au haut des pentes, sur les faîtes des crêtes et des eskers, dans les dépressions peu profondes des champs de blocs et des affleurements rocheux; espèces dominantes : lichens, mousses et plantes éricacées; substrat exposé : <25 p. 100.
  - *Socle rocheux et champ de blocs :* Crêtes d'affleurements rocheux consolidés ou champs de blocs accidentés; petits étangs ou parcelles de toundra à buttes de graminoïdes parfois présents dans les petites dépressions; mousses et lichens croissant dans les crevasses et les petites dépressions; lichens crustacés sur de nombreux affleurements et blocs rocheux; substrat exposé : >75 p. 100.

- Hautes terres et basses terres :
  - *Dépôts actifs :* Sédiments côtiers exposés, formant souvent des deltas; fonds de lac exposés; berges hautes des cours d'eau le long des versants où se produit une érosion active des dépôts glacio-lacustres ou des sédiments marins; couverture végétale inférieure à 5 p. 100 ou inexistante.
  - *Tourbe exposée :* Hygrique à hydrique, brun foncé, fond tourbeux des étangs exposé dans les cariçaies humides pendant l'abaissement naturel des niveaux d'eau; tourbe mésoïque, brun pâle à brun foncé, exposée dans les colonies de nidification des oies et autour de ces colonies en raison de la destruction du couvert végétal, dont le déchiquetage des buttes d'*Eriophorum vaginatum* lorsque les oies construisent leur nid et sont en quête de nourriture pendant la période de nidification; couverture végétale minimale et résiduelle.

Ces types de couverture terrestre sont ceux qui étaient faciles à repérer au cours des visites sur le terrain et des inspections aériennes à basse altitude. Ils présentaient en outre des caractéristiques distinctes sur le plan de la végétation, du terrain superficiel et de l'humidité, étaient utiles pour décrire la disponibilité des habitats des basses terres et des hautes terres pour diverses espèces sauvages et se prêtaient à une classification des images avec une précision raisonnable. Les vues au sol et aériennes de ces types de couverture terrestre, de même qu'une description de leur couleur sur les améliorations des images, de leur position topographique, de leur expression superficielle, de leur substrat, de leur régime d'humidité écologique et de leur végétation, sont fournies à l'annexe 2.

L'identification des espèces de lichens et de mousses était très limitée au cours de notre étude et de notre description des types de couverture terrestre. On trouve dans Edlund (1982) un examen détaillé et un résumé des communautés végétales associées à divers matériaux de surface dans le centre-nord du district de Keewatin, dans les Territoires du Nord-Ouest; ce document constitue une excellente source permettant de déterminer les espèces de lichens et de mousses susceptibles d'êtres présentes dans les types de couverture terrestre décrits ici.

Dans certains cas, il peut y avoir une transition nette et abrupte entre des types de couverture terrestre adjacents (figure 2), mais la plupart du temps, cette transition est irrégulière et graduelle, particulièrement dans les basses terres.

3.2 Interprétation visuelle des améliorations

Des étalements suivant une loi de puissance des contrastes pour les bandes 4 et 5 (puissance = 2,0) et un étalement linéaire pour la bande 2, affichés en rouge, en vert et en bleu, respectivement, ont permis d'afficher efficacement les données sur les images. Grâce à cette amélioration, qui a été fonctionnelle tant pour l'interprétation visuelle que pour la préparation des cartes en couleur destinées aux études sur le terrain, il a été possible de discriminer les types de couverture des hautes terres et des basses terres présentant un intérêt (figure 3).

Figure 2
Illustration des limites nettes entre deux types de couverture terrestre adjacents, soit un affleurement rocheux et un petit lac

Figure 3
Exemple d'une amélioration d'image à l'aide d'un étalement suivant une loi de puissance des contrastes pour les bandes 4 et 5 et d'un étalement linéaire pour la bande 2, en rouge, en vert et en bleu, respectivement

Les dépôts actifs comportant une végétation clairsemée ou dépourvus de végétation ont été faciles à identifier d'après leur brillance due à un degré de réflectance élevé. Les affleurements rocheux et les champs de blocs, de même que la toundra à lichens et éricacées, dans une moindre mesure, ont aussi été repérés aisément d'après leur coloration foncée attribuable à un degré de réflectance moins élevé. Les trois catégories de turbidité de l'eau, en particulier les masses d'eau trouble, étaient évidentes.

La combinaison d'une biomasse abondante de graminoïdes tant à l'intérieur que près des zones d'eau de surface dans les cariçaies humides, habituellement dans des dépressions bien définies, a permis une excellente détection de ce type de couverture terrestre. En règle générale, les limites de ce type de couverture terrestre étaient aussi très nettes. Par ailleurs, d'autres types de couverture terrestre des basses terres — toundra hummockée à graminoïdes, toundra à buttes de graminoïdes, toundra de petits arbustes et fourrés — étaient relativement distincts sur cette amélioration d'image. Les zones de confusion étaient sans doute dues à des variations de l'humidité superficielle, à la présence d'une couverture arbustive et à la pente. C'était particulièrement le

cas des types de couverture suivants : toundra à buttes de graminoïdes, toundra de petits arbustes et fourrés. Le type de couverture terrestre constitué de tourbe exposée, associé aux colonies de nidification des oies, était facilement reconnaissable à son degré de réflectance élevé dans la bande 5 et peu élevé dans la bande 4.

Cette amélioration des trois bandes peut constituer un outil efficace pour faire la distinction entre les hautes terres et les basses terres du ROM et peut permettre de discriminer les communautés des basses terres où la couverture arbustive est réduite ou inexistante et celles où la couverture arbustive est importante. Les gammes de couleurs de l'amélioration des trois bandes sont fournies à l'annexe 2 pour chaque classe de turbidité de l'eau et pour chaque type de couverture terrestre.

3.3 Classification de la couverture terrestre

La collecte de données exhaustives sur le terrain en vue de produire des signatures d'échantillons s'est avérée efficace pour la création de la carte de la couverture terrestre du ROM du golfe Reine-Maud. Les treize types de couverture terrestre choisis ont fourni un niveau adéquat de détails aux fins de la cartographie et ont permis de cerner les types de couverture présentant un intérêt particulier pour les évaluations des habitats fauniques du ROM.

Un autre type de couverture des basses terres, la couverture de graminoïdes du littoral, a été identifié et jugé important. Il forme de petites parcelles le long de la côte immédiate du golfe Reine-Maud, en particulier près de l'embouchure des cours d'eau. Il a été associé à des dépôts d'argile et de limon marins, près de la ligne de marée haute; il se caractérise par une mosaïque d'îlots de gazon peu élevés, d'argiles et de limons exposés, de chenaux ou de bassins d'eau peu profonds. Les espèces dominantes sont *Puccinellia phryganodes*, *Carex subspathacea* et *Carex ursina*. Du fait que les parcelles sont de petite taille et qu'elles forment des mosaïques, sans compter la grande variation proportionnelle de la végétation, des sédiments exposés et de l'eau, la classification de ce type de couverture terrestre n'a pas été fructueuse. Même si les erreurs de classification pouvaient être supprimées manuellement dans le cas des zones intérieures, la classification de cette couverture terrestre le long de la côte incluait systématiquement de vastes étendues de sédiments côtiers dépourvues de couverture de graminoïdes. Ce type de couverture terrestre est important pour certaines espèces d'oiseaux migrateurs; on peut prédire sa présence avec un certain degré de fiabilité du fait qu'il est associé à des dépôts d'argile et de limon marins dans les environs immédiats des embouchures des cours d'eau qui se jettent dans le golfe Reine-Maud. On l'observe rarement le long des littoraux lithodépendants. L'annexe 2 présente de plus amples détails sur l'aspect et la composition végétale de la couverture de graminoïdes du littoral, de même que des autres types de couverture terrestre.

Au cours des visites sur le terrain, des inspections aériennes et des analyses numériques de l'imagerie, nous avons tenté d'établir une classe spectrale pour un type de couverture terrestre appelé « toundra de petits arbustes de transition ». Cette classe aurait représenté une forme intermédiaire entre la couverture de petits arbustes de la toundra à buttes de graminoïdes (<25 p. 100) et la couverture arbustive plus dense de la toundra de petits arbustes (50–75 p. 100). Cependant, à cause des variations de la couverture arbustive dans les sites témoins et, sans doute, des variations infimes de l'humidité et de la pente, nous avons obtenu une classification très peu précise lorsque nous avons tenté de séparer ces classes. Nous avons donc utilisé le type actuel de couverture de petits arbustes, lequel inclut une plage de couverture arbustive de 25–75 p. 100.

Des cartes de la couverture terrestre sont fournies en format électronique avec le rapport, sur le cédérom d'accompagnement.

3.4 Précision de la classification

Nous pouvons déterminer la précision de notre classification avec un certain degré de certitude au moyen d'un vaste échantillon indépendant de sites répertoriés au cours des visites sur le terrain. Nous avons eu recours à la procédure d'évaluation de la précision décrite dans Story et Congalton (1986), laquelle fournit un moyen d'établir la fiabilité des cartes. La précision du point de vue producteur désigne la mesure dans laquelle une superficie terrestre donnée du ROM est cartographiée adéquatement. On l'établit en calculant le pourcentage des zones de référence d'un type particulier de couverture terrestre qui ont été classifiées correctement; il s'agit donc d'une mesure de la probabilité qu'un échantillon de référence soit classifié correctement. La valeur de précision ainsi obtenue donne une estimation de l'erreur d'omission.

Un site témoin utilisé pour l'évaluation de la précision était considéré comme correctement classifié si >50 p. 100 des pixels étaient eux-mêmes correctement classifiés et si la forme de la zone-échantillon était clairement définie par le type de couverture terrestre pertinent (en d'autres termes, les pixels mal classifiés étaient dispersés dans le site témoin).

Toutefois, lorsque les types de couverture terrestre sont mal classifiés, on a affaire à des erreurs réelles. Les utilisateurs de cartes de classification se préoccupent tout autant, sinon davantage, de la mesure dans laquelle ces cartes représentent ce que l'on trouve réellement sur le terrain. Si un utilisateur se rend sur un site qui, selon la carte, constitue un type particulier de couverture terrestre, la précision estimative du point de vue utilisateur fournit une indication de la probabilité que ce type de couverture se trouve réellement à cet endroit.

3.4.1 Eau

Au cours des inspections aériennes des masses d'eau, les deux observateurs s'entendaient généralement quant à la catégorie de turbidité à attribuer à chacune. La classification des quinze lacs où des échantillons d'eau ont été prélevés a donné les résultats suivants : les cinq lacs du type eau claire, quatre des cinq lacs du type modérément trouble et les cinq lacs du type eau trouble ont été correctement classifiés d'après les écarts distincts entre les valeurs mesurées de la turbidité et les valeurs établies au disque de Secchi (tableau 2).

Dans l'ensemble, la précision de la classification des types de turbidité de l'eau était de 84 p. 100, mais les valeurs attribuées à la précision des points de vue producteur et utilisateur révèlent que nous avons mieux réussi à détecter et à cartographier les masses d'eau trouble et les masses d'eau

Tableau 2
Mesures de la turbidité et au disque de Secchi des lacs du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut (moyenne et plage des valeurs)

Lac	Turbidité (mg/L)	Disque de Secchi (m)
Eau claire (n = 5)	4,5 (2–8)	2,8 (2,0–4,0)
Eau modérément trouble (n = 5)	15,8 (11–28)	0,9 (0,6–1,4)
Eau trouble (n = 5)	323,0 (54–945)	0,2 (0,1–0,4)

claire (tableau 3). Cette situation était prévisible du fait que la plage de turbidité des lacs du type modérément trouble était étendue. Aucun lac du type eau trouble n'a été classifié dans le type eau claire, et vice versa.

Les lacs du type eau claire étaient le plus courants dans les zones étendues d'affleurement rocheux et de toundra à lichens et éricacées comportant des littoraux litho-dépendants. Ceux du type eau trouble étaient surtout observés dans les plaines alluviales et glacio-lacustres des principaux versants où les limons et les argiles fins caractérisent les substrats littoraux. Les lacs thermo-karstiques étaient répandus dans ces régions et leur eau était souvent très trouble. Les lacs du type modérément trouble étaient surtout observés en périphérie de ces deux types de région.

3.4.2 Portions terrestres

Dans l'ensemble, la précision de la classification des types de couverture terrestre était de 89 p. 100, et les valeurs attribuées à la précision des points de vue producteur et utilisateur montrent que la plupart des types de couverture

Tableau 3
Précision de la classification, des points de vue producteur et utilisateur, des masses d'eau du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

		Données de référence (nombre de sites échantillonnés)				
		Eau claire	Eau modérément trouble	Eau trouble	Total (rang)	Précision du point de vue utilisateur[a] (%)
Données classifiées	Eau claire	**206**	40	0	246	84
	Eau modérément trouble	36	**186**	19	241	77
	Eau trouble	0	20	**214**	234	91
	Total (colonne)	242	246	233	**721**	
	Précision du point de vue producteur[b] (%)	85	76	91		
		Précision globale = 84 %				

[a] La précision du point de vue utilisateur indique la probabilité qu'une unité d'une carte de classification représente réellement ce type de couverture sur le terrain.
[b] La précision du point de vue producteur indique la probabilité qu'une zone sur le terrain soit classifiée correctement.

Tableau 4
Précision de la classification, des points de vue producteur et utilisateur, des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

		Données de référence (nombre de sites échantillonnés)[a]										Total (rang)	Précision du point de vue utilisateur[b] (%)
		CH	THG	TBG	TPA	FO	TML	TLE	SRCB	DA	TE		
Données classifiées	CH	**98**				1						99	99
	THG		**43**	8	1							52	83
	TBG		10	**48**	1		10	2				71	68
	TPA	1		7	**73**	3						84	87
	FO	1			9	**38**						48	79
	TML						**43**	2				45	96
	TLE						3	**96**	1			100	96
	SRCB						1	8	**65**			74	88
	DA						1			**35**		36	97
	TE										**12**	12	100
	Total (colonne)	100	53	63	84	42	58	108	66	35	12	**621**	
	Précision du point de vue producteur[c] (%)	98	81	76	87	90	74	89	98	100	100		
		Précision globale = 89 %											

[a] Abréviations : CH = cariçaie humide; THG = toundra hummockée à graminoïdes; TBG = toundra à buttes de graminoïdes; TPA = toundra de petits arbustes; FO = fourrés; TML = toundra à mousses et lichens; TLE = toundra à lichens et éricacées; SRCB = socle rocheux et champ de blocs; DA = dépôt actif; TE = tourbe exposée.
[b] La précision du point de vue utilisateur indique la probabilité qu'une unité d'une carte de classification représente réellement ce type de classification sur le terrain.
[c] La précision du point de vue producteur indique la probabilité qu'une zone sur le terrain soit classifiée correctement.

terrestre individuels ont été classifiés adéquatement (tableau 4).

La cariçaie humide apparaissait très distinctement et a été classifiée avec précision en raison de ses conditions hygriques, de sa biomasse abondante et de sa présence à l'intérieur de bassins bien définis. Les mauvaises classifications occasionnelles des types fourré ou toundra de petits arbustes peuvent être attribuées à la présence d'une croissance arbustive dans des conditions hydriques le long de certains versants et de certains littoraux lacustres peu élevés. La toundra hummockée à graminoïdes et la toundra à buttes de graminoïdes étaient parfois confondues, mais elles étaient tout de même bien distinctes dans la classification. Des classifications erronées ont pu résulter de l'inclusion d'un type de couverture terrestre dans un autre, et de telles inclusions n'ont pas été supprimées pendant la délimitation et la révision de certaines zones-échantillons. Il y avait des chevauchements semblables de types de couverture terrestre portant une couverture arbustive variable (toundra à buttes de graminoïdes, toundra de petits arbustes et fourrés), mais la précision de la classification demeurait élevée pour ces types de couverture.

La précision de la classification des types de couverture terrestre des hautes terres était élevée, mais certaines erreurs étaient prévues du fait que ces types de couverture étaient définis d'après la proportion de substrat exposé et de végétation. La toundra à lichens et éricacées inclut des blocs, des affleurements rocheux ou du sable et du gravier exposés, tandis qu'une portion du type socle rocheux et champ de blocs renferme des dépressions où l'on trouve des lichens, des mousses et des éricacées.

Du fait que le degré de réflectance des sédiments exposés était élevé, la précision de la classification était très élevée, et ces zones ont été cartographiées efficacement dans le ROM. Les caractéristiques superficielles exceptionnelles de la tourbe exposée dans les colonies de nidification des oies, une surface relativement sèche mais foncée portant une biomasse minimale de même qu'un degré de réflectance peu élevé dans la bande 4 et élevé dans la bande 5, ont aussi eu pour résultat une précision élevée de la classification.

Les erreurs réelles étaient habituellement associées à l'attribution d'un type de couverture terrestre qui ressemblait le plus à un autre (p. ex. toundra de petits arbustes en comparaison de fourrés, ou socle rocheux/champ de blocs en comparaison de toundra à lichens et éricacées). L'utilisation de la répartition de pixels classifiés plutôt que de site témoins entiers pendant l'évaluation de la précision a permis d'examiner ces cas (tableau 5). Par exemple, le type socle rocheux et champ de blocs était rarement classifié dans le type cariçaie humide. Lorsqu'une telle classification se produisait, elle pouvait être attribuable au fait que de petits affleurements du socle rocheux à l'intérieur ou en périphérie des sites témoins ont été inclus au cours de leur délimitation, mais n'ont pas été exclus lors de la révision. En raison de ces associations étroites de types de couverture terrestre, la présence de parcelles d'éricacées et de lichens dans les zones de socle rocheux, par exemple, représente vraisemblablement la nature composite du type de couverture terrestre plutôt qu'une erreur réelle.

Nous avons « lissé » les cartes de la couverture terrestre afin d'éliminer les petites parcelles de couverture terrestre, de sorte que les zones contiguës minimales sont restreintes à trois pixels ou plus. Cette procédure supprime partiellement l'effet « moucheté » causé par des parcelles dispersées de un ou de deux pixels. Les mouchetures peuvent représenter des erreurs de classification attribuables au processus de moyennage des pixels ou à la présence de petites parcelles d'un type de couverture terrestre intégrées dans un autre type. La précision du point de vue producteur et celle du point de vue utilisateur ont été calculées à l'aide des données de classification brutes; les valeurs présentées au tableau 4 peuvent être biaisées quelque peu à la baisse.

Tableau 5
Répartition des classifications des pixels dans les échantillons de types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

		Données de référence [a,b]									
		CH	THG	TBG	TPA	FO	TML	TLE	SRCB	DA	TE
Données classifiées	CH	**16 693**	159	310	57	145	24	430	58	0	0
	THG	61	**6 392**	2 420	929	6	258	5	8	0	0
	TBG	28	1 296	**10 748**	901	56	1 669	274	9	1	8
	TPA	167	571	1 895	**9 901**	897	23	60	2	8	1
	FO	322	3	55	1 938	**2 941**	0	0	0	0	0
	TML	426	88	148	54	1	**6 553**	1 119	41	4	21
	TLE	127	4	49	70	0	991	**15 502**	705	0	4
	SRCB	51	0	0	0	0	172	2 856	**8 296**	1	1
	DA	50	23	25	13	26	112	22	111	**5 993**	1
	TE	16	4	47	0	0	207	39	8	0	**560**

[a] Abréviations : CH = cariçaie humide; THG = toundra hummockée à graminoïdes; TBG = toundra à buttes de graminoïdes; TPA = toundra de petits arbustes; FO = fourrés; TML = toundra à mousses et lichens; TLE = toundra à lichens et éricacées; SRCB = socle rocheux et champ de blocs; DA = dépôt actif; TE = tourbe exposée.
[b] Eau de surface présente dans CH (402 pixels), dans SRCB (22 pixels) et dans DA (54 pixels).

4. Possibilités de gestion et de recherche

Le traitement numérique de l'imagerie du LANDSAT et d'autres satellites constitue un moyen efficace de créer des cartes de couverture terrestre aux fins de l'évaluation des habitats fauniques. La cartographie peut atteindre une précision raisonnable si l'on procède, sur le terrain, à un échantillonnage suffisant pour établir des signatures de classification et si l'on choisit une échelle raisonnable pour la cartographie. Les coûts des produits de l'imagerie-satellite, du traitement des images et des études sur le terrain sont relativement élevés, mais le temps et les coûts associés à des procédures traditionnelles (acquisition et interprétation de photos aériennes et cartographie manuelle) ne permettraient pas, dans la plupart des cas, de cartographier une région aussi vaste et éloignée.

Il est facile de calculer la superficie totale de chaque type de couverture terrestre à partir des cartes de classification (tableau 6), de même que de produire des cartes de couverture terrestre dressées à diverses échelles et comportant des combinaisons de types de couverture terrestre.

La création de cartes de l'habitat à partir de l'imagerie-satellite permet de produire des cartes géoréférencées qui, à leur tour, permettent l'impression de cartes ainsi que l'intégration à d'autres bases de données numériques et la création de cartes dans le SIG. Une telle intégration constituera un atout de plus en plus important dans l'utilisation de produits de télédétection numériques aux fins de la cartographie de la couverture terrestre.

Ces cartes faciliteront l'examen des limites du ROM, l'objectif premier. Elles faciliteront également la mise en œuvre de diverses activités de recherche et de surveillance fauniques menées à l'intérieur du ROM; par exemple, on pourra étudier l'utilisation de types donnés de couverture terrestre par diverses espèces sauvages en faisant appel à des données de relevés antérieurs, actuels et futurs des populations (p. ex. Butler *et al.*, 1995).

Dans le voisinage des colonies de nidification des Oies de Ross et des Oies des neiges, on peut voir clairement que les communautés de graminoïdes mésoïques ont été dégradées par la construction de nids et la recherche de nourriture (figure 4). Cette forme de dégradation a également été documentée à divers emplacement le long de la côte ouest de la baie d'Hudson (Kerbes *et al.*, 1990). La télédétection s'est avérée efficace tant pour repérer et cartographier la tourbe sèche exposée le long de cette côte (A. Didiuk, données inédites) que pour le présent projet; elle fournit

Tableau 6
Superficie des types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

Type de couverture	Superficie (km^2)	% du total
Eaux du large	6 463	10,3
Eau douce		
Claire	7 214	11,5
Modérément trouble	3 222	5,1
Trouble	1 231	2,0
Total	11 667	18,6
Cariçaie humide	4 857	7,7
Toundra hummockée à graminoïdes	2 594	4,1
Toundra à buttes de graminoïdes	4 534	7,2
Toundra de petits arbustes	4 959	7,9
Fourrés	1 045	1,7
Toundra à mousses et lichens	3 370	5,4
Toundra à lichens et éricacées	15 937	25,3
Socle rocheux et champ de blocs	5 810	9,2
Dépôts actifs	1 381	2,2
Tourbe exposée	276	0,4
Total	62 893	100,0

Figure 4
Zones du type tourbe exposée (en rouge) dans les environs des colonies de nidification de l'Oie de Ross et de l'Oie des neiges au lac Karrak, dans le Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

également un moyen d'évaluer l'étendue spatiale de la dégradation, le taux d'augmentation de la superficie dégradée et le rétablissement de la végétation.

Dans les régions arctiques, diverses contraintes d'ordre logistique peuvent entraver la télédétection (Ferguson, 1991). La disponibilité de l'imagerie peut être limitée par la nébulosité (en particulier dans les régions côtières), une saison de croissance relativement courte et la fréquence orbitale des satellites de télédétection. Dans les régions arctiques, les inspections sur le terrain ne peuvent être effectuées qu'à l'aide d'un hélicoptère, ce qui exige un stockage coûteux de carburant hélicoptère. Toutefois, le rythme relativement lent des changements naturels qui surviennent dans les divers types de couverture terrestre, comparativement à celui observé dans des régions plus méridionales (p. ex. les incendies de forêt), et une utilisation très limitée du sol (p. ex. pour la foresterie ou l'agriculture) portent à croire que les classifications de la couverture terrestre peuvent demeurer adéquates pendant plus longtemps.

5. Recommandations

Il faudra disposer d'information à jour sur l'environnement des aires « protégées » et des autres régions du Nunavut et des Territoires du Nord-Ouest pour évaluer les répercussions que pourraient avoir des activités accrues d'exploration minérale et divers types d'extraction des ressources. La cartographie de la couverture terrestre à l'aide de l'imagerie-satellite et de technologies de traitement numérique constitue un moyen efficace de créer des cartes de terrain aux fins de l'évaluation de ces répercussions.

L'accroissement des populations d'Oies des neiges et d'autres espèces d'oies et de bernaches dans le centre de l'Arctique et ailleurs soulève des préoccupations concernant la destruction de l'habitat, la maladie et les conflits qu'occasionne l'agriculture dans les aires de migration et d'hivernage. Pour surveiller les espèces d'oies et de bernaches ainsi que leurs habitats de nidification et d'élevage des couvées, il faudra disposer de cartes de l'habitat afin d'être en mesure d'élaborer des plans de relevé efficaces qui permettront d'exercer un suivi de la taille et de la répartition des populations, de surveiller les changements temporels de l'habitat et de comprendre les exigences et les préférences de diverses espèces en matière d'habitat.

Il est recommandé de créer des cartes, semblables à celles établies dans le cadre du présent projet, de la couverture terrestre d'autres refuges d'oiseaux migrateurs du Nunavut, où nichent un grand nombre d'espèces de sauvagine, où résident d'autres espèces fauniques et où la dégradation de l'habitat peut soulever des préoccupations. Les régions à considérer en priorité incluent les refuges d'oiseaux migrateurs de la rivière McConnell, J. Dewey Soper et Harry Gibbons, dans l'est de l'Arctique.

Ouvrages cités

BUTLER, W.I., JR., R.A. STEHN et G.R. BALOGH. 1995. « GIS for mapping waterfowl density and distribution from aerial surveys », *Wildl. Soc. Bull.* 23:140–147.

COMITÉ CONSULTATIF DE LA CONSERVATION. 1990. *Examen des limites des refuges d'oiseaux dans les Territoires du Nord-Ouest*. Comité consultatif de la conservation sur la Politique minière pour le Nord, Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa, 15 p.

DICKSON, H.L., D. JACQUES, S. BARRY, E.S. TELFER et A.R. SMITH. 1989. *Identification of nesting and staging shorebird areas in the Mackenzie River delta and Richards Island area, Northwest Territories using Landsat Thematic Mapper imagery 1985–87*, Rapport c7.3, Programme d'initiatives pétrolières et gazières dans le Nord, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Edmonton, 133 p.

DIPIX. 1987. *ARIES system user's manual. Part 2*, DIPIX Technologies Inc., Ottawa.

EDLUND, S.A. 1982. *Plant communities on the surficial materials of north-central district of Keewatin, Northwest Territories*, Rapport n° 80-33, Commission géologique du Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, 19 p.

FERGUSON, R.S. 1991. « Detection and classification of muskox habitat on Banks Island, Northwest Territories, Canada, using Landsat Thematic Mapper data », *Arctic* 44 (Suppl. 1):66–74.

GAVIN, A. 1947. « Birds of Perry River district, Northwest Territories », *Wilson Bull.* 59:195–203.

HANSON, H.C., P. QUENEAU et P. SCOTT. 1956. *The geography, birds and mammals of the Perry River region*, Special Publication No. 3, Arctic Institute of North America, University of Calgary, Calgary, 96 p.

HARVIE, J.M., J. CIHLAR et C. GOODFELLOW. 1982. *Surface cover mapping in the Arctic through satellite remote sensing. User's Manual 82-1*, Centre canadien de télédétection, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa, 61 p.

HEARD, D. 1989. « Bathurst herd », dans E. Hall (éd.), *People and caribou in the Northwest Territories*, ministère des Ressources renouvelables, gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 190 p.

KERBES, R.H. 1994. *Colonies and numbers of Ross' Geese and Lesser Snow Geese in the Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary*, Publication hors série n° 81, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa, 47 p.

KERBES, R.H., M.R. MCLANDRESS, G.E.J. SMITH, G.W. BEYERSBERGEN et B. GODWIN. 1983. « Ross' Goose and Lesser Snow Goose colonies in the central Canadian arctic », *Can. J. Zool.* 61:168–173.

KERBES, R.H., P.M. KOTANEN et R.L. JEFFERIES. 1990. « Destruction of wetland habitats by Lesser Snow Geese: a keystone species on the west coast of Hudson Bay », *J. Appl. Ecol.* 27:242–258.

MARKON, C.J., et D.V. DERKSEN. 1994. « Identification of tundra land cover near Teshekpuk Lake, Alaska, using SPOT satellite data », *Arctic* 47:222–231.

MCLANDRESS, M.R. 1983. « Temporal changes in habitat selection and nest spacing in a colony of Ross' and Lesser Snow Geese », *Auk* 10:335–343.

PETERSEN, G.H. 1987. *Ground cover mapping on the winter range of the Beverley barren-ground caribou herd using remote sensing techniques: An aid to management*, mémoire de maîtrise en science, Faculty of Environmental Design, University of Calgary, Calgary, 111 p.

PORSILD, A.E., et W.J. CODY. 1980. *Vascular plants of continental Northwest Territories, Canada*, Musée national des sciences naturelles, Musées nationaux du Canada, Ottawa, 667 p.

RYDER, J.P. 1967. *The breeding biology of the Ross' Goose in the Perry River region, Northwest Territories*, Série de rapports n° 3, Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa, 55 p.

RYDER, J.P. 1969. « Nesting colonies of Ross' Goose », *Auk* 86:282–292.

RYDER, J.P. 1971. « Distribution and breeding biology of the Lesser Snow Goose in central Arctic Canada », *Wildfowl* 22:18–28.

RYDER, J.P. 1972. « Biology of nesting Ross' Geese », *Ardea* 60:185–215.

SHASBY, M., et D. CARNEGGIE. 1986. « Vegetation and terrain mapping in Alaska using Landsat MSS and digital terrain data », *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 52:779–786.

SHORT, N.M. 1982. *The Landsat tutorial workbook — Basics of satellite remote sensing*. NASA Reference Publication 1078. National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC, 553 p.

SHOWENGERDT, R.A. 1983. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*, Academic Press, NY, 249 p.

SLATTERY, S.M. 1994. *Neonate reserves, growth and survival in Ross' and Lesser Snow Goose goslings*, mémoire de maîtrise en science, University of Saskatchewan, Saskatoon.

STORY, M., et R.G. CONGALTON. 1986. « Accuracy assessment: A user's perspective », *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 52:397–399.

THOMPSON, D.C., G.H. KLASSEN et J. CIHLAR. 1980. « Caribou habitat mapping in the southern district of Keewatin, NWT: An application of digital Landsat data », *J. Appl. Ecol.* 17:125–138.

WAKELYN, L.A. 1990. *Wetland inventorying and mapping in the Northwest Territories using digital Landsat data*, Rapport n° 96, ministère des Ressources renouvelables, gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, 76 p.

Annexe 1

Dates, trajectoires et clichés identifiant les images de l'ACT du LANDSAT utilisées pour la classification de la couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

Satellite	Date des images	Taille des images	Trajectoire	Cliché
LANDSAT5	16 juillet 1989	scène complète	39	13
LANDSAT5	5 août 1991	quadrat 8	41	13
LANDSAT5	14 juillet 1989	scène complète	41	13
LANDSAT5	19 août 1988	scène complète	42	13
LANDSAT5	5 août 1986	quadrat 12	43	12
LANDSAT5	5 août 1986	quadrat 3	43	12
LANDSAT5	20 juillet 1992	scène complète	43	13

Annexe 2

Types de couverture terrestre du Refuge d'oiseaux migrateurs du golfe Reine-Maud, Nunavut

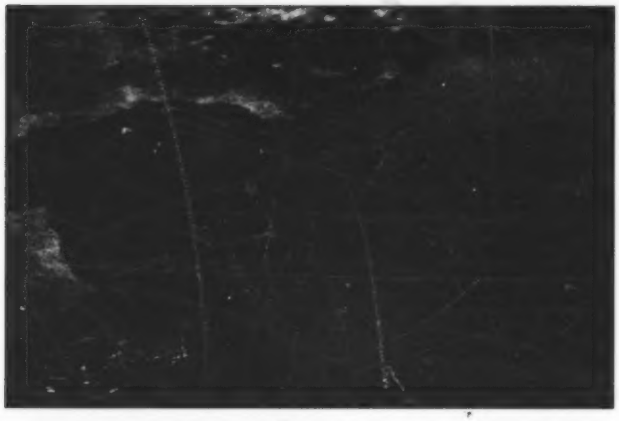
MASSES D'EAU CLAIRE

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De bleu foncé à noir.

Position topographique : Le plus souvent dans les régions où l'on trouve des littoraux lithodépendants.

Turbidité : Eau claire; substrat et entités submergées clairement visibles, sauf dans les portions les plus profondes de la masse d'eau.

Solides en suspension	4,5 mg/L en moyenne
Disque de Secchi	2,8 m en moyenne



MASSES D'EAU MODÉRÉMENT TROUBLE

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Bleu moyen.

Position topographique : Habituellement en association avec des portions du littoral non lithodépendant; type de couverture courant en bordure des régions de socle rocheux.

Turbidité : Variable; substrat et entités submergées visibles à des profondeurs de <1 m seulement; coloration aigue-marine à l'occasion.

Solides en suspension	15,8 mg/L en moyenne
Disque de Secchi	0,9 m en moyenne

MASSES D'EAU TROUBLE

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De violet à mauve pâle.

Position topographique : Type de couverture presque toujours observé dans les plaines alluviales le long des principaux versants; lacs thermokarstiques et chenaux dans les dépôts de limons marins et les dépôts glacio-lacustres.

Turbidité : Couleur distincte allant de brun pâle à brun moyen; substrat et entités submergées non visibles.

Solides en suspension	323 mg/L en moyenne
Disque de Secchi	0,2 m en moyenne

CARIÇAIE HUMIDE

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De marron foncé (masses d'eau de surface étendues) à rouge vif (masses d'eau de surface peu étendues).

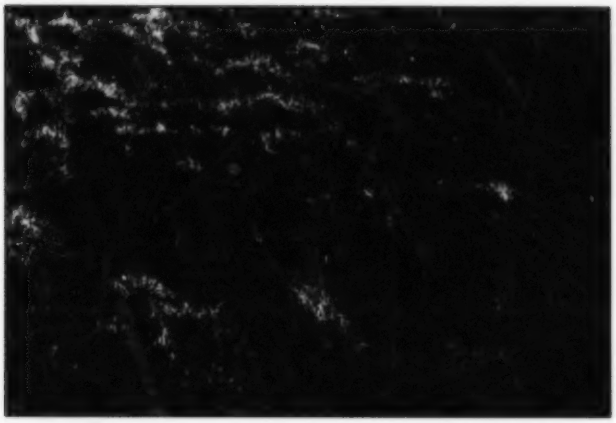
Position topographique : Basses terres, dépressions, petits chenaux d'écoulement, tourbières minérotrophes de flaques de neige; type de couverture parfois adjacent à des lacs et à des étangs.

Expression superficielle : Zones généralement plates à légèrement inclinées, sous les couches de neige et en aval de celles-ci; aussi, polygones concaves ou parcelles localisées en terrain hummocké et à buttes.

Substrat : Tourbe de laîche saturée, un peu de tourbe mousseuse, sus-jacente à des dépôts glaciaires fins ou à des argiles et des limons marins fins mal drainés et saturés.

Régime d'humidité : Hydrique, avec eau douce calme ou à faible circulation; hygrique dans les zones légèrement plus élevées et dans les zones d'abaissement du niveau d'eau.

Végétation : Complexe d'eau de surface, de carex et d'herbages graminés, et tourbe exposée dans les zones d'abaissement du niveau d'eau. Masses d'eau peu profondes et tourbe saturée entièrement recouvertes de carex, principalement *Carex aquatilis* (*stans*), de mousses, d'*Eriophorum angustifolium* et d'*Eriophorum vaginatum*, de même que de *Dupontia fisheri*. Autres herbages graminés et herbes non graminéennes : *Eriophorum russeolum*, *Poa arctica*, *Carex rariflora*, *Potentilla palustris*, *Pedicularis sudetica*, *Saxifraga hirculus*, *Saxifraga foliolosa* et *Polygonum viviparum*, notamment. Espèces émergentes en eau plus profonde : *Arctophila fulva*, *Hippuris vulgaris*, *Carex aquatilis* (*stans*), *Caltha palustris* et *Ranunculus gmelinii*, notamment. *Arctagrostis latifolia* et *Dupontia fisheri* dominent souvent dans les cariçaies humides côtières croissant sur les argiles marines. Le couvert de plantes vasculaires varie de 40 à 100 p. 100, la moyenne étant de 85 p. 100. La hauteur varie entre 10 et 25 cm, la moyenne étant de 15 cm.



TOUNDRA HUMMOCKÉE À GRAMINOÏDES

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De jaune à vert jaunâtre; buttes d'*Eriophorum vaginatum* plus fréquentes dans les zones vert jaunâtre.

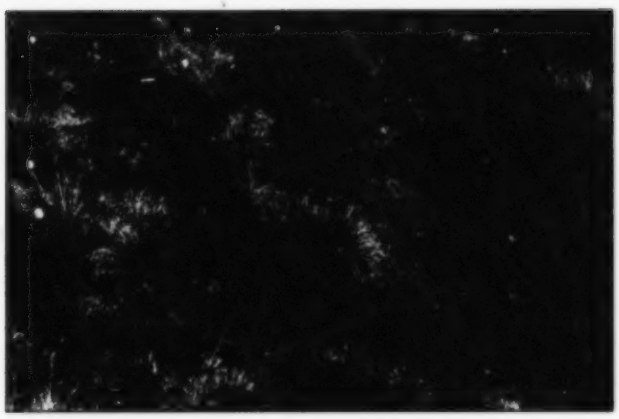
Position topographique : Basses terres, généralement adjacentes aux littoraux des versants, des lacs et des grands étangs.

Expression superficielle : Terrain habituellement plat comportant des hummocks arrondis caractéristiques. Diamètre des hummocks : 75–160 cm; moyenne : 100 cm. Hauteur des hummocks : 15–35 cm; moyenne : 24 cm. Largeur des creux intercalaires : 5–45 cm; moyenne : 26 cm. À certains endroits, abondance de ventres de bœuf avec sol minéral exposé.

Substrat : En général, tourbe de laîche sus-jacente à des argiles et à des limons marins ou à des sables, à des argiles et à des limons glaciaires.

Régime d'humidité : Mésoïque sur les faîtes des hummocks; creux intercalaires mésoïques à hygriques.

Végétation : Hummocks caractéristiques où dominent *Carex aquatilis* (*stans*), *Festuca brachyphylla* et *Arctagrostis latifolia*; à l'occasion, buttes d'*Eriophorum vaginatum*. Les faîtes des hummocks portent à l'occasion des arbustes déprimés, dont *Salix arctica*, *Salix arctophila*, *Salix reticulata* et *Dryas integrifolia*, diverses espèces d'arbustes éricacés, dont *Ledum decumbens*, *Cassiope tetragona*, *Vaccinium vitis-idaea* et *Vaccinium uliginosum*, de même que des espèces herbacées et des herbages graminés, dont *Potentilla nivea*, *Parrya arctica*, *Cerastium alpinum*, *Stellaria longipes*, *Alopecurus alpinus*, *Saxifraga hieracifolia*, *Saxifraga cernua*, *Melandrium apetalum*, *Hierochloe alpina*, *Antennaria ekmaniana*, *Castilleja elegans* et *Pyrola grandiflora*. Les arbustes dressés *Betula glandulosa* et *Salix planifolia* sont peu fréquents. Les creux portent des tapis de mousse et, à l'occasion, *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, *Petasites frigidus*, *Ranunculus pedatifidus* et *Pedicularis sudetica*. Couvert de plantes vasculaires généralement de 100 p. 100. La hauteur varie entre 5 et 25 cm, la moyenne étant de 10 cm.



TOUNDRA À BUTTES DE GRAMINOÏDES

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De vert pâle à vert moyen; les teintes plus foncées peuvent indiquer une plus grande humidité superficielle.

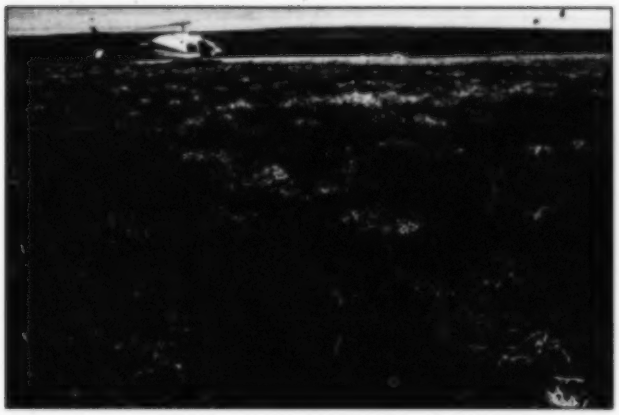
Position topographique : Basses terres, plaines plates adjacentes aux versants ou dépressions dans les hautes terres; pentes douces entre les versants et les lacs.

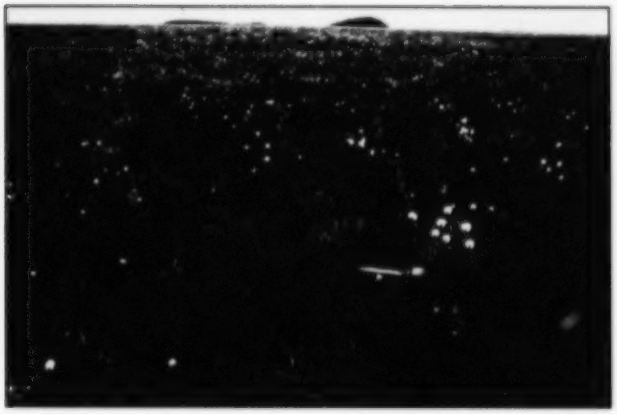
Expression superficielle : Configuration passablement régulière de buttes hémisphériques distinctes d'*Eriophorum vaginatum* avec creux intercalaires; hummocks dispersés à l'occasion. Diamètre des buttes : 15–45 cm; moyenne : 30 cm. Hauteur des buttes : 10–30 cm; moyenne : 19 cm. Largeur des creux intercalaires : 15–40 cm; moyenne : 26 cm.

Substrat : Tourbe de laîche surtout, avec de très petites parcelles de tourbe mousseuse dans certains creux, sus-jacente à des argiles et à des sables ainsi qu'à des limons marins.

Régime d'humidité : De mésoïque à hygrique; les creux entre les buttes ont tendance à être hygriques.

Végétation : Dominance de buttes d'*Eriophorum vaginatum*, qui forment jusqu'à 80 p. 100 du couvert. À l'occasion, *Eriophorum angustifolium*, *Carex aquatilis* (*stans*) et *Arctagrostis latifolia* présents en bordure des buttes et dans les creux. Les arbustes dressés *Betula glandulosa*, *Salix lanata* et *Salix arctophila* forment jusqu'à 25 p. 100 du couvert total, la moyenne étant de 15 p. 100; ils sont présents sur les faîtes et le pourtour des buttes et atteignent généralement <50 cm de hauteur. Les espèces observées à l'occasion sur les buttes et les hummocks dispersés incluent les arbustes déprimés nains *Salix arctica*, *Salix herbacea*, *Salix reticulata* et *Dryas integrifolia*, de même que les herbes non graminéennes *Pedicularis lapponica*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Saxifraga cernua*, *Polygonum viviparum*, *Cerastium alpinum* et *Pyrola grandiflora*. Les creux intercalaires portent surtout de la tourbe exposée et des tapis de mousse hydrophyte avec, à l'occasion, *Caltha palustris*, *Petasites frigidus*, *Pedicularis sudetica*, *Potentilla palustris*, *Saxifraga cernua* et *Saxifraga hieracifolia*. Le couvert de plantes vasculaires varie entre 80 et 100 p. 100. La hauteur est de 5 à 40 cm, la moyenne étant de 15 cm, avec de la tourbe et des tapis de mousse dans les creux.





TOUNDRA DE PETITS ARBUSTES

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Brun olive à diverses nuances d'orange.

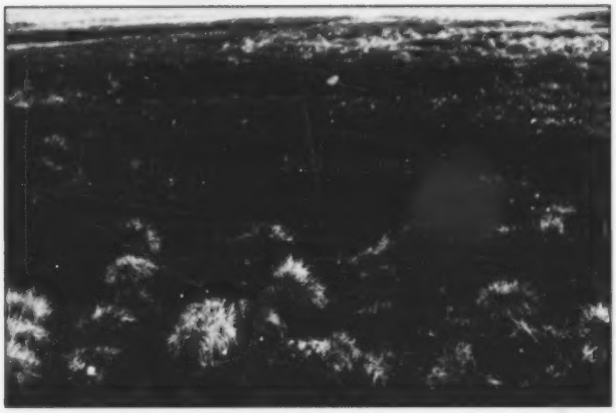
Position topographique : Basses terres, en particulier des plaines plates à légèrement inclinées associées à des polygones convexes dans les sites mésoïques abrités.

Expression superficielle : Terrain généralement plat à légèrement incliné, mais variable; des buttes d'*Eriophorum vaginatim* caractérisent la plupart des sites. Hauteur des buttes : 15–30 cm; moyenne : 20 cm. Largeur des buttes : 15–50 cm; moyenne : 30 cm. Hauteur des hummocks : 15–35 cm; moyenne : 25 cm. Largeur des hummocks : 60–150 cm; moyenne : 90 cm. Largeur des creux : 15–300 cm; moyenne : 35 cm.

Substrat : Prédominance de tourbe de laîche sus-jacente à l'argile, au limon ou aux alluvions; dépôts localisés de sable et de gravier dans les zones de polygones convexes.

Régime d'humidité : Buttes et hummocks mésoïques; creux hygriques entre les buttes ou les hummocks.

Végétation : Arbustes dressés constituant de 25 à 75 p. 100 (45 p. 100 en moyenne) du couvert total. On observe le plus souvent des buttes d'*Eriophorum vaginatum* portant des saules dressés de faible hauteur, principalement *Salix planifolia*, ou un mélange de buttes d'*Eriophorum vaginatum* et de hummocks plus gros portant des *Salix planifolia* et des *Betula glandulosa*. Les mousses abondent dans les creux hygriques; *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium*, *Potentilla palustris*, *Caltha palustris* et *Pedicularis sudetica* sont répandus, tandis que l'on observe à l'occasion *Petasites frigidus*, *Petasites sagittatus*, *Saxifraga hirculus*, *Ranunculus pedatifidus*, *Arctagrostis latifolia* et *Dupontia fisheri*. *Salix reticulata*, *Salix arctophila*, *Pedicularis flammea*, *Pedicularis lapponica*, *Alopecurus alpinus*, *Astragalus alpinus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Cerastium* sp., *Saxifraga cernua*, *Polygonum viviparum* et *Pyrola grandiflora* sont parfois présents sur les hummocks et les buttes mésoïques. Le couvert de plantes vasculaires varie entre 70 et 100 p. 100, la moyenne étant de 90 p. 100; la hauteur des arbustes à partir de la base des buttes ou des hummocks varie entre 15 et 85 cm, la moyenne étant de 30 cm.



FOURRÉS

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : D'orange foncé à diverses nuances de brun roux.

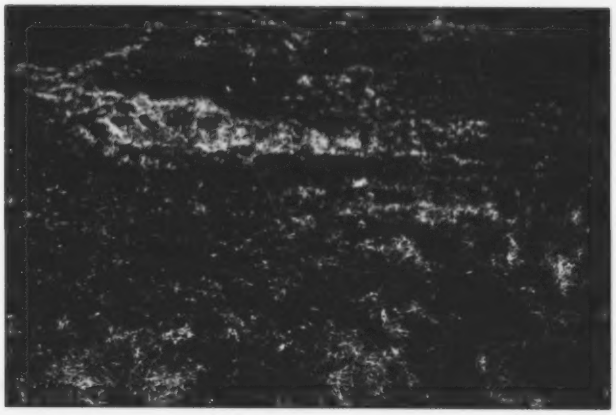
Position topographique : Basses terres, en particulier des plaines plates à légèrement inclinées associées aux principaux versants, aux dépôts d'alluvions le long des littoraux des îles des principaux cours d'eau et aux dépressions mésoïques abritées le long des pentes des vallées; littoraux et îles des petits et des grands versants.

Expression superficielle : Terrain généralement plat à légèrement incliné, mais variable; la hauteur et la largeur des buttes d'*Eriophorum vaginatum* et la largeur des creux intercalaires sont semblables à celles des buttes et creux observés dans la toundra de petits arbustes.

Substrat : Tourbe de laîche sus-jacente à l'argile, au limon ou aux alluvions; dépôts localisés de sable et de gravier dans les zones de polygones convexes, le long des littoraux des versants et sur les îles.

Régime d'humidité : Pentes des vallées et levées mésoïques le long des versants; dépressions hygriques.

Végétation : Arbustes dressés constituant de 75 à 100 p. 100 (90 p. 100 en moyenne) du couvert total. Les fourrés denses de *Salix planifolia* ou de *Betula glandulosa* sont les plus répandus. Le sous-étage est semblable à celui de la toundra de petits arbustes, les buttes d'*Eriophorum vaginatum* constituant le couvert le plus abondant. Les mousses abondent dans les creux hygriques; *Carex aquatilis* (*stans*) et *Eriophorum angustifolium* sont présents à l'occasion dans les zones plus dégagées. *Petasites frigidus*, *Petasites sagittatus*, *Arctagrostis latifolia* et *Dupontia fisheri* observés à l'occasion également. Le couvert de plantes vasculaires varie entre 80 et 100 p. 100, la moyenne étant de 90 p. 100. À partir de la base des buttes, la hauteur des arbustes varie entre 15 et 100 cm, la moyenne étant de 50 cm.



TOUNDRA À MOUSSES ET LICHENS

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Bleu-vert vif.

Position topographique : Hautes terres, dépôts glaciaires sur les pentes inférieures des eskers, longues pentes douces et terrasses, autres dépôts glacio-lacustres; dépôts de sable et de sable-gravier le long des principaux versants.

Expression superficielle : Terrain plat à ondulé, avec présence fréquente de polygones de gélicontraction ou d'autres irrégularités superficielles.

Substrat : Sable, gravier et autre matériel fluvio-glaciaire. Les blocs exposés sont répandus; les petits affleurements rocheux sont peu fréquents.

Régime d'humidité : Xérique à mésoïque; saturation possible au printemps.

Végétation : Les mousses *Rhacomitrium* sp., *Aulacomnium* sp. et *Tomenthypnum* sp. dominent, d'où l'aspect jaunâtre souvent observé, de même que les lichens *Cladonia* sp., *Cetraria* sp. et *Alectoria* sp. Les mousses et les lichens forment jusqu'à 90 p. 100 du couvert. Les espèces éricacées, communes mais dispersées, incluent *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, *Empetrum nigrum* et *Arctostaphylos alpina*. Les arbustes déprimés sont fréquents, mais forment un couvert peu étendu (<5 p. 100) et de faible hauteur (<10 cm); ils incluent *Dryas integrifolia*, *Betula glandulosa* et *Salix arctophila*. Les herbes non graminéennes sont dispersées et incluent *Arctagrostis latifolia*, *Carex vaginata*, *Hierochloe alpina*, *Luzula* sp., *Juncus* sp., *Oxytropis maydelliana*, *Silene acaulis*, *Pedicularis lapponica* et *Pedicularis sudetica*. On observe fréquemment de petits blocs rocheux ou de petites parcelles de sable ou de gravier exposés. De nombreuses zones sont caractérisées par des motifs circulaires distincts composés de lichens foncés *Alectoria* sp. entourés de *Hierochloe alpina* jauni.

TOUNDRA À LICHENS ET ÉRICACÉES

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : De vert olive à vert foncé.

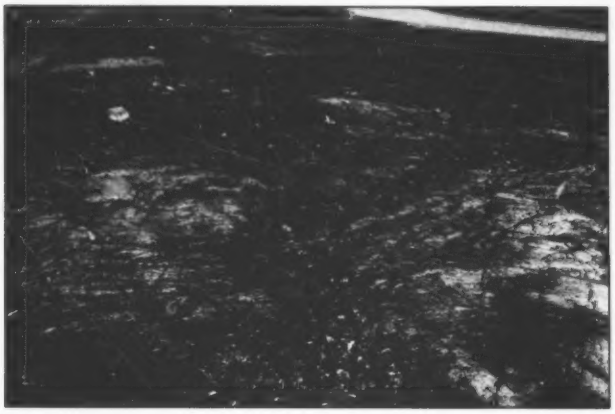
Position topographique : Hautes terres, y compris les portions allant de la mi-hauteur jusqu'au haut des pentes et des faîtes des crêtes et eskers, et autres dépôts glaciaires à blocs modérement drainés à bien drainés; placages fins dans les dépressions des champs de blocs et des affleurements rocheux.

Expression superficielle : Surface rugueuse et inégale attribuable à la présence de blocs, de cailloux et de petits affleurements rocheux.

Substrat : Champ de blocs et socle rocheux non consolidé et gélivé; graviers et sables grossiers.

Régime d'humidité : Xérique, avec sites mésoïques localisés dans les dépressions.

Végétation : On observe une variation du couvert végétal total, à l'exclusion des lichens crustacés qui couvrent une partie des blocs exposés et des affleurements rocheux; ce couvert végétal varie, mais il est généralement de >75 p. 100. Des portions individuelles d'affleurements rocheux peuvent porter un couvert végétal de <10 p. 100, tandis que dans les dépressions, le couvert végétal est souvent presque continu. Les lichens, dont *Alectoria ochroleuca*, *Cladina* sp. et *Cetraria*, constituent la végétation dominante, ce qui donne son aspect gris verdâtre à ce type de couverture. Les mousses abondent également, notamment *Rhacomitrium lanuginosum*; avec les lichens dominants, elles forment jusqu'à 75 p. 100 du couvert végétal. Le reste de la végétation comprend des espèces éricacées, telles que *Ledum decumbens*, *Cassiope tetragona*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos alpina*, *Loiseleuria procumbens* et *Empetrum nigrum*, des arbustes déprimés à l'occasion, comme *Dryas integrifolia* et *Betula glandulosa*, de même que des graminoïdes et des herbes non graminéennes dispersées, par exemple *Hierochloe alpina*, *Calamagrostis lapponica*, *Oxytropis maydelliana*, *Silene acaulis*, *Potentilla nivea*, *Epilobium latifolium*, *Papaver radicatum*, *Luzula confusa* et *Artemisia* sp. Diverses espèces de lichens crustacés couvrent une grande partie des blocs exposés et des affleurements rocheux.



SOCLE ROCHEUX ET CHAMP DE BLOCS

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Bleu-vert foncé ou brun-vert; les pentes abruptes du socle rocheux lisse et consolidé apparaissent souvent sous forme de petites parcelles vert vif.

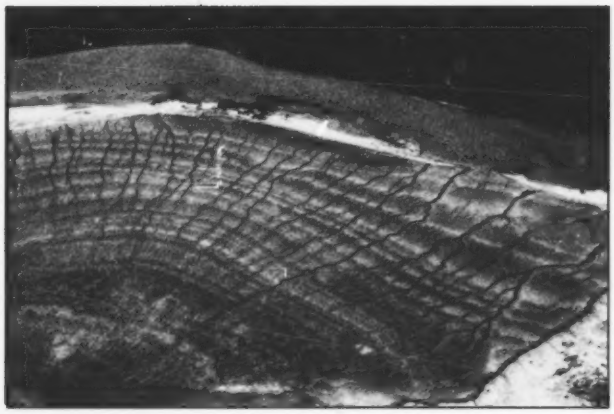
Position topographique : Hautes terres, principalement des affleurements rocheux consolidés de roche granitique et de champs de blocs.

Expression superficielle : Terrain accidenté, changements fréquents et abrupts dans les pentes et dans l'aspect de ce type de couverture en raison de la présence d'un socle rocheux gélivé et de gros blocs angulaires; les petites dépressions portant une toundra à lichens et éricacées, une toundra à buttes de graminoïdes ou des étangs sont répandues.

Substrat : Socle rocheux consolidé ou blocs.

Régime d'humidité : Xérique; sites mésoïques localisés dans les dépressions.

Végétation : Le socle rocheux et les blocs exposés couvrent >75 p. 100 de la superficie; dans certaines zones, cette proportion atteint >90 p. 100. Ces superficies sont sujettes à une humidité et à des températures extrêmes, leur couverture neigeuse est souvent soufflée complètement en hiver et elles portent diverses espèces de lichen qui peuvent couvrir presque entièrement les surfaces rocheuses. Les espèces dominantes sont les lichens crustacés et certains lichens foliacés. D'épaisses couches de mousses, dont *Rhacomitrium* sp., et de lichens, dont *Alectoria* sp. et *Cetraria* sp., croissent souvent dans les dépressions et les larges crevasses du socle rocheux. Ces zones où dominent les mousses et les lichens peuvent porter une flore vasculaire, notamment les arbustes éricacés *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, *Arctostaphylos alpina* et *Loiseleuria procumbens*, les graminoïdes *Hierochloe alpina*, *Arctagrostis latifolia*, *Luzula confusa* et *Poa alpigena*, les arbustes déprimés *Empetrum nigrum*, *Dryas integrifolia*, *Betula glandulosa* et *Salix reticulata*, de même que les herbes non graminéennes *Pedicularis lapponica*, *Arnica louiseana*, *Potentialla rubricaulis*, *Saxifraga tricuspidata*, *Silene acaulis*, *Oxytropis maydelliana* et *Papaver radicatum*. La fougère *Dryopteris fragrans* croît dans les crevasses et d'autres endroits abrités.



DÉPÔTS ACTIFS

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Les sédiments de couleur pâle des lits de lac exposés, les berges hautes des cours d'eau, les dépôts de sables et de gravier alluviaux ou les creux de déflation sableux sont généralement d'un blanc vif; les argiles et limons rougeâtres sont un mélange de mauve pâle et de mauve moyen; les limons et argiles humides près des littoraux marins sont d'un magenta moyen ou pâle uniforme.

Position topographique : Basses terres et hautes terres; lits exposés des grands lacs ayant subi ou subissant un abaissement du niveau d'eau, rives en érosion des cours d'eau où l'on observe des limons et des argiles exposés, portions alluvionnantes de cours d'eau, y compris des îles et des flèches de gravier, de sable et de limon, zones mésoïques à hygriques des dépôts deltaïques.

Expression superficielle : Variable, allant de lits de lac, de dépôts alluviaux et de dépôts deltaïques très plats à des pentes faibles à escarpées et disséquées de limons marins en érosion active le long de cours d'eau.

Substrat : Variable; inclut des argiles et des limons marins, des graviers alluviaux et glaciels, des sables et des limons ainsi que des dépôts éoliens actifs.

Régime d'humidité : Variable, de xérique à hygrique.

Végétation : Substrat habituellement dénudé et sans couverture végétale en raison des effets de l'érosion active ou de l'alluvionnement. La portion aval de cours d'eau situés près de la côte, dont les rives de limons marins subissent une érosion active, peut porter des *Puccinellia phryganodes* et des *Alopecurus alpinus*.

TOURBE EXPOSÉE

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Vert bleuté; couleur semblable à celle de la toundra à mousses et lichens, mais moins vive.

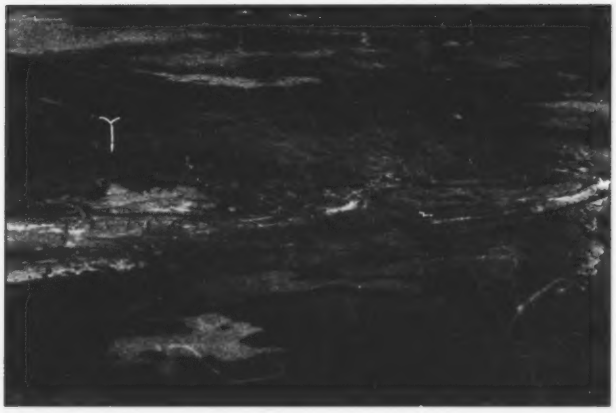
Position topographique : Basses terres; cariçaie humide, toundra hummockée à graminoïdes et toundra à buttes de graminoïdes.

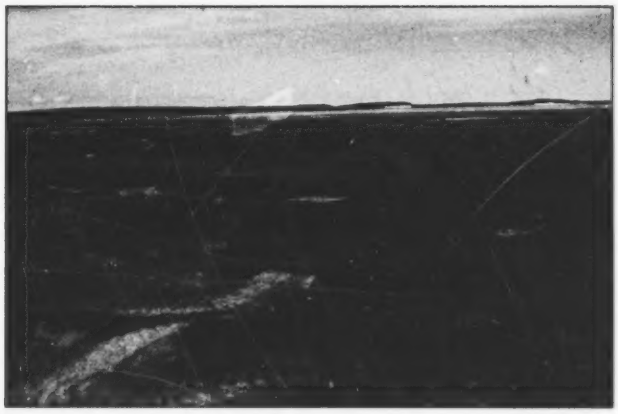
Expression superficielle : Terrain plat de cariçaies humides et terrain plat à légèrement incliné de toundra hummockée à graminoïdes et de toundra à buttes de graminoïdes.

Substrat : Tourbe peu épaisse constituée principalement de matière provenant de *Carex* sp. et d'*Eriophorum* sp.

Régime d'humidité : D'hygrique à mésoïque.

Végétation : Deux phénomènes donnent lieu à la présence de tourbe exposée. Dans les communautés de cariçaies humides, l'abaissement naturel du niveau de l'eau de surface en réaction aux précipitations et à l'évaporation antérieures et actuelles expose le fond tourbeux des zones d'eau peu profonde. Cette tourbe est brun foncé lorsqu'elle est saturée; lorsqu'elle a été exposée depuis peu de temps, la végétation est peu abondante, à l'exception de graminoïdes dispersées comme *Carex aquatilis* (*stans*), *Eriophorum angustifolium* ou *Arctophila fulva.* Les années où la couverture neigeuse hivernale et les précipitations sont peu élevées, ces zones peuvent former des parcelles à l'intérieur ou en périphérie des cariçaies humides. La tourbe peut également être exposée en raison de la construction de nids et des activités de broutage de l'Oie des neiges et de l'Oie de Ross à l'intérieur et autour des colonies de nidification de ces espèces. Dans les zones mésoïques de toundra à buttes de graminoïdes où la densité des oies nicheuses est élevée, les buttes individuelles d'*Eriophorum vaginatum* sont déchiquetées et utilisées, à l'instar de nombreuses autres espèces végétales, pour la construction des nids. De leur arrivée jusqu'à l'éclosion des œufs, les oies adultes sont présentes au site de nidification; pendant cette période, le broutage de la végétation comestible est intense. Les tourbes exposées sont mésoïques et vont de brun moyen à brun foncé.





COUVERTURE DE GRAMINOÏDES DU LITTORAL

Amélioration des bandes 4, 5, 2 : Petites parcelles orange du bord faisant face au littoral des limons et argiles exposés du large, de couleur mauve pâle, surtout près des embouchures des cours d'eau. COUVERTURE NON CARTOGRAPHIÉE; PRÉDICTION DES EMPLACEMENTS D'APRÈS LA POSITION TOPOGRAPHIQUE.

Position topographique : Basses terres, littoral situé immédiatement le long de la côte dans les environs des embouchures de cours d'eau, inondés régulièrement par la marée haute, mais pas quotidiennement; petites poches rares le long des littoraux lithodépendants de la côte, dans les petites baies où se produisent de petits dépôts de limons et d'argiles fins.

Expression superficielle : Terrain plat où des sites bas d'îlots surélevés de couverture de graminoïdes, des étendues de limon non végétalisées et des bassins et des chenaux peu profonds saumâtres à salins forment une mosaïque.

Substrat : Limons et argiles marins et sédiments deltaïques à l'embouchure des cours d'eau.

Régime d'humidité : Hygrique; l'humidité est fonction de l'action récente des marées et de la brise de mer.

Végétation : *Puccinellia phryganodes* domine dans les îlots extérieurs de couverture de graminoïdes, tandis que *Puccinellia phryganodes*, *Carex subspathacea*, *Carex ursina* et *Stellaria humifusa* dominent dans les îlots intérieurs de couverture de graminoïdes.

Publications hors série récentes

N° 87
L'utilisation de divers habitats par les anatinés en période de nidification : les îles du fleuve Saint-Laurent situées entre Montréal et Trois-Rivières, par Luc Bélanger et Denis Lehoux. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/87F. Publ. en 1995.
N° 88
Examen des impacts environnementaux de la grenaille et des plombs de pêche en plomb au Canada, par A.M. Scheuhammer et S.L. Norris. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/88F. Publ. en 1995.
N° 89
The colonial waterbirds of Great Slave Lake, Northwest Territories: an annotated atlas, par J. Sirois, M.A. Fournier et M.F. Kay.
N° de catalogue CW69-1/89E. Publ. en 1995.
N° 90
Utilisation des habitats côtiers du nord-est de la baie James par les canards, par Austin Reed, Réjean Benoit, Richard Lalumière et Michel Julien. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/90F. Publ. en 1996.
N° 91
Studies of high-latitude seabirds. 4. Trophic relationships and energetics of endotherms in cold ocean systems, par W.A. Montevecchi (réd.).
N° de catalogue CW69-1/91E. Publ. en 1996.
N° 92
Utilisation des habitats côtiers du nord-est de la baie James par les bernaches, par Austin Reed, Réjean Benoit, Michel Julien et Richard Lalumière . Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/92F. Publ. en 1996.
N° 93
The ecology, status, and conservation of marine and shoreline birds of the Queen Charlotte Islands, par K. Vermeer et K.H. Morgan (réd.).
N° de catalogue CW69-1/93E. Publ. en 1997.
N° 94
King and Common eiders of the western Canadian Arctic, par D. Lynne Dickson (réd.).
N° de catalogue CW69-1/94E. Publ. en 1997.
N° 95
Monitoring bird populations: the Canadian experience, par Erica H. Dunn, Michael D. Cadman et J. Bruce Falls (réd.).
N° de catalogue CW69-1/95E. Publ. en 1997.
N° 96
Winter distributions of Thick-billed Murres from the eastern Canadian Arctic and western Greenland in relation to age and time of year, par G.M. Donaldson, A.J. Gaston, J.W. Chardine, K. Kampp, D.N. Nettleship et R.D. Elliot.
N° de catalogue CW69-1/96E. Publ. en 1997.
N° 97
Shorebird migration and staging at a large prairie lake and wetland complex: the Quill Lakes, Saskatchewan, par Stuart A. Alexander et Cheri L. Gratto-Trevor.
N° de catalogue CW69-1/97E. Publ. en 1997.
N° 98
Distribution, survival, and numbers of Lesser Snow Geese of the Western Canadian Arctic and Wrangel Island, Russia, par Richard H. Kerbes, Katherine M. Meeres et James E. Hines (réd.).
N° de catalogue CW69-1/98E. Publ. en 1999.
N° 99
Breeding ecology of the Horned Grebe *Podiceps auritus* in subarctic wetlands, par Michael A. Fournier et James E. Hines.
N° de catalogue CW69-1/99E. Publ. en 1999.
N° 100
Behaviour and ecology of sea ducks, par R. Ian Goudie, Margaret R. Petersen et Gregory J. Robertson (éd.).
N° de catalogue CW69-1/100E. Publ. en 1999.
N° 101
Assessment of bird populations in the Rasmussen Lowlands, Nunavut, par Victoria H. Johnston, Cheri L. Gratto-Trevor et Stephen T. Pepper.
N° de catalogue CW69-1/101E. Publ. en 2000.
N° 102
Modélisation et gestion de la population d'Oies des neiges, par Hugh Boyd (éd.) Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/102F. Publ. en 2000.
N° 103
Towards conservation of the diversity of Canada Geese (*Branta canadensis*), par Kathryn M. Dickson (éd.)
N° de catalogue CW69-1/103E. Publ. en 2000.
N° 104
Estimates of shorebird populations in North America, par R.I.G. Morrison, R.E. Gill, Jr., B.A. Harrington, S. Skagen, G.W. Page, C.L. Gratto-Trevor et S.M. Haig.
N° de catalogue CW69-1/104E. Publ. en 2001.
N° 105
Status and population trends of the Razorbill in eastern North America, par G. Chapdelaine, A.W. Diamond, R.D. Elliot et G.J. Robertson.
N° de catalogue CW69-1/105E. Publ. en 2001.
N° 106
Studies of high-latitude seabirds. 5. Monitoring Thick-billed Murres in the eastern Canadian Arctic, 1976–2000, par A.J. Gaston.
N° de catalogue CW69-1/106E. Publ. en 2002.
N° 107
Changements dans les activités de chasse et d'abattage de la sauvagine déclarées au Canada et aux États-Unis, de 1985 à 1998, par H. Boyd, H. Lévesque et K.M. Dickson. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/107F. Publ. en 2002.
N° 108
Les pesées et les turluttes de plomb au Canada : Examen de leur utilisation et de leurs effets toxiques sur les espèces sauvages, par A.M. Scheuhammer, S.L. Money, D.A. Kirk et G. Donaldson. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/108F. Publ. en 2003.
N° 109
Habitats marins clés pour les oiseaux migrateurs au Nunavut et dans les Territoires du Nord-Ouest, par Mark L. Mallory et Alain J. Fontaine. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/109F. Publ. en 2004.
N° 110
Relevé de 1995 du Faucon pèlerin au Canada, sous la direction d'Ursula Banasch et de Geoff Holroyd. Also available in English.
N° de catalogue CW69-1/110F. Publ. en 2004.

Ce document est imprimé
sur le papier certifié
par Éco-Logo[M].